

BULLETIN
DE LA
SOCIÉTÉ FRANÇAISE DE MINÉRALOGIE
ET DE CRISTALLOGRAPHIE

ANNÉE 1950. — BULLETIN D'AVRIL-JUIN

Séance du 20 avril 1950.

PRÉSIDENTE M. N. BOUBÉE, VICE-PRÉSIDENT.

Membres nouveaux.

M^{lle} CAUCHOIS, M^{me} HERPIN, MM. J. J. FAHEY, R. GALMES, FRANKE, J. ROBERT, P. LAFFITTE, R. LOUDE, et le Laboratoire des Traitements chimiques de Vitry, présentés à la dernière séance, sont proclamés membres de la Société.

Présentations.

MM. J. BRENET, Laboratoires Wonder, 77, rue des Rosiers, Paris, présenté par MM. Barraut et Rose.

MM. J. MERING, 12, quai Henri IV, Paris, 4^e, présenté par M. Mauguin et Wyart.

M^{lle} R. FRANKLIN, 12, quai Henri IV, Paris, 4^e, présentée par MM. Grison et Luzzati.

M^{me} J. ESCARD, 12, quai Henri IV, Paris, 4^e, présentée par M. Grison et Luzzati.

M^{me} A. R. WEILL, 30, rue Washington, Paris, 8^e, présentée par MM. Grison et Luzzati.

M. Ch. LEGRAND, sous-directeur du Laboratoire de rayons X C. N. R. S., à Bellevue, 11, rue Lagarde, Paris, 5^e, présenté par MM. Wyart et Rose.

M. A. GRUND, Dölel Gürsel, 13, Wien, 19, Autriche, présenté par MM. Wyart et Rose.

En ouvrant la séance, M. BOUBÉE regrette l'absence de M. Mauguin, retenu près de M^{me} Mauguin souffrante et se fait l'interprète de tous les membres de la Société en demandant au Secrétaire de transmettre à M^{me} Mauguin ses vœux respectueux de prompt rétablissement.

Le Président communique ensuite une invitation au Congrès annuel de l'Association française pour l'avancement des Sciences qui aura lieu à Toulouse, du 11 au 16 septembre 1950.

Questions à l'ordre du jour :

Métallogénie des Pyrénées et de la Montagne Noire.

Progrès dans l'analyse minéralogique : méthodes physiques et chimiques.

Analyse minéralogique et pétrographique des charbons.

Toute communication sur d'autres sujets minéralogiques ou pétrographiques sera accueillie avec le plus grand intérêt. Envoyer le titre et un résumé à M. Capdecombe, professeur de Minéralogie à la Faculté des Sciences de Toulouse.

Une excursion est prévue dans l'Ariège.

M. BOUBÉE donne ensuite la parole à M. DEICHA, qui rend compte à la Société de sa mission à Zurich où il a remis à M. le professeur P. Niggli le diplôme de membre honoraire de notre Société.

A cette occasion, notre confrère C. BURRI avait réuni, le vendredi 14 avril, quelques professeurs de l'Institut de Minéralogie et de Pétrographie de l'École Polytechnique Fédérale, qui ont ensuite présenté à notre nouveau membre honoraire leurs félicitations pour son élection. Le professeur Niggli a exprimé en termes émus ses remerciements à tous les membres de notre Société pour cette distinction.

M. G. DEICHA transmet pour la Bibliothèque quelques publications récentes offertes par le professeur Niggli : en particulier des « Tableaux de pétrographie et de détermination de roches », ouvrages de 150 pages, éd. de l'E. T. H. de Zurich (1949) et une remarquable « Kristallologia » de Johann Hein-

rich Hottinger (1698); (traduction allemande de H. Niggli) avec de nombreux commentaires, ce travail constitue une contribution importante pour l'histoire de notre Science.

En même temps, le professeur C. BURRI offre à la Société « An account of the long field meeting held in Switzerland ». Ce fascicule, conçu dans l'esprit de ceux du guide géologique de la Suisse, mais tout récent, sera le compagnon de route de ceux de nos confrères qui iront cet été à Davos, pour le Jubilé de la Société suisse de Minéralogie et de Pétrographie.

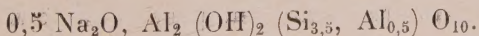
Communications.

M^{lle} S. CAILLÈRE expose les résultats de nouvelles recherches effectuées en collaboration avec M. S. Hénin et M^{lle} A. Mathieu-Sicaud, sur le minéral de La Table, près d'Allevard.

L'examen aux rayons X du produit séché à l'air montre l'existence d'une équidistance de 22,5 Å. Cette équidistance s'accroît quand le produit baigne dans le glycérol. Après chauffage à 550° l'équidistance des plans (001) tombe à 9 Å et le diagramme s'apparente à celui de la muscovite. Cependant la quantité d'eau hygroscopique relativement faible que révèle l'examen à la thermobalance montre qu'il ne peut pas s'agir d'un minéral très hydraté. On est ainsi amené pour expliquer l'équidistance de 22,5 Å à imaginer que la structure est constituée de paires de feuillets mica séparées par une couche de molécules d'eau.

Une série de raies peu intenses indique qu'il existe d'autres combinaisons de feuillets mica et de couches d'eau mais en faibles proportions.

Recalculée, sur la base de cette structure, l'analyse chimique permet d'établir la formule :



Un dépôt d'une suspension de ce minéral examiné au microscope électronique révèle qu'il est constitué de longs rubans de 0,5 à 1 μ de large sur 10 μ de longueur et d'une épaisseur de l'ordre de 100 Å.

Étant données les propriétés très particulières de ce minéral, il semble que l'on doive en faire une espèce nouvelle pour laquelle M^{lle} Caillère propose le nom d'allevardite.

Suit une discussion animée par MM. Boubée et Yung et par M. Déribéré qui proteste contre le nom d'allevardite, car ce minéral n'est pas trouvé à Alleverd même, mais dans un canton savoyard voisin à une quinzaine de kilomètres. M. Déribéré propose le nom de caillérîte.

Le Président remercie M^{lle} CAILLÈRE de son intéressant exposé.

M. FRANKE présente une communication intitulée « Sur la synthèse du quartz par voie hydrothermale ».

Après une introduction sur l'intérêt de la synthèse du quartz pour la technique des télécommunications, l'auteur précise les qualités que doit présenter le quartz de synthèse.

Après un rappel des travaux de Spézia et des applications américaines, M. Franke souligne l'intérêt de trouver un procédé de synthèse plus économique en améliorant les conditions expérimentales (abaissement de la température et de la pression).

Ses recherches ont porté tout d'abord sur la détermination du domaine d'existence du quartz. La solubilité du quartz dans l'eau pure à 350° est de 0,67 mg. par gramme d'H₂O avec une précision de ± 10 %. Pour la silice dans l'eau pure à 370°, on observe une recristallisation dans la vapeur sous-saturée, et dans la phase liquide sous pression de vapeur saturée, un équilibre métastable de 3,8 mg. ± 10 % par gramme d'H₂O.

Un essai de très longue durée donne à 350°, après introduction d'un germe de quartz, un dépôt de quartz sur ce germe et un dépôt de cristobalite en poudre au fond de l'autoclave.

L'auteur expose ensuite l'action de solutions alcalines sur le quartz et montre des échantillons de disilicate de Na cristallisé qui se forme au cours de l'attaque du quartz. Ce dernier présente des figures de corrosion de quelques millimètres.

La silice fondue attaquée dans les mêmes conditions donne des géodes renfermant de petits quartz de 2 à 3 mm. Celles-ci sont quelquefois stratifiées par des impuretés métalliques comme les anneaux de Liesegang de l'agate ; une photographie de telles stratifications est projetée.

M. Franke présente enfin un beau cristal de quartz synthétique de 10 gr. environ obtenu à partir d'un germe de 1 à 2 gr., à une température de l'ordre de 300° et sous une pression de 60 atmosphères, conditions expérimentales économiquement très satisfaisantes.

Après une discussion à laquelle prennent part MM. Gelfroy, Wyart, Saucier et Yung, le Président félicite très vivement M. Franke de son remarquable travail et lui demande de réserver un mémoire original pour une publication dans le Bulletin de la Société.

Enfin, M. ELLER décrit un nouvel appareil fonctionnant suivant le principe des expositions successives (méthode de Bragg-Huggins) qui donne une véritable photographie de la structure étudiée.

La particularité de cet appareil est l'absence totale d'organes optiques utilisant la réflexion ou la réfraction (lentilles, miroirs, etc...), ce qui évite de nombreuses sources d'erreurs et simplifie la manœuvre. L'image optique des termes de la série de Fourier y est remplacée par une ombre portée et l'introduction de la phase y est particulièrement commode. Une cellule photoélectrique permet la mesure directe des facteurs de structure géométrique, de la densité en tous points de l'espace de Patterson, et la mesure, en deux temps, de la densité électronique en tous les points de la maille cristalline.

Toutes les manipulations de l'appareil se font sans inconvénient, en pleine lumière.

Après une discussion animée par M. Wyart, qui montre l'intérêt de cette machine, et de M. Luzzati, qui fait une comparaison avec la machine de Pepinsky, le Président remercie M. ELLER de son intéressant exposé.

Présentations d'échantillons.

M. J. GEFROY présente plusieurs échantillons de stolzite, recueillis sur les haldes de la mine de Sainte-Lucie en Saint-Léger-de-Peyre (Lozère). Cette mine est actuellement abandonnée depuis 1940. L'espèce y avait été déjà signalée par M. Georges Choubert, qui en avait offert plusieurs échantillons au Muséum.

Les cristaux présentés sont caractérisés par un habitus aplati suivant l'axe quaternaire (rappelant le faciès habituel des cristaux de wulfénite). L'un de ces cristaux mesure 27 mm. d'arête et pèse 17 gr. La couleur varie de incolore à rouge orangé.

L'analyse chimique ne révèle pas de quantités appréciables de molybdène. Il ne s'agit donc pas d'un terme de passage à la *chillagite*.

La stolzite de Sainte-Lucie est associée à de nombreux produits supergènes (cérusite en très beaux cristaux, anglésite, pyromorphite, malachite, chessylithe, etc...) aux affleurements d'un filon plombé de type mésothermal, qui recoupe les migmatites gneissiques du Val d'Enfer dans la vallée de la Crueize.

La minéralisation comprend : galène argentifère, blende, chalcopryrite, pyrite et marcasite, dans une gangue essentiellement quartzeuse, avec carbonates (calcite, dolomie, etc...). Il n'y a *ni barytine, ni fluorine*. Malgré l'examen microscopique en sections polies d'un abondant matériel, M. Geffroy n'a encore trouvé aucun minéral primaire de tungstène.

Les cristaux de stolzite de Sainte-Lucie constituent certainement jusqu'ici les plus gros qu'on ait signalés de cette rare espèce.

M. DÉRIBÉRÉ présente ensuite un très bel échantillon de shortite ($\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 2\text{CaCO}_3$) de Green River (Wyoming) et un échantillon de longhlinite, silicate magnésien fibreux contenant de petits cristaux de shortite.

Enfin, M. BOUBÉE présente de magnifiques nodules lenticulaires d'oxydes de fer provenant de Deva, Guipuzcoa, Espagne. Ces nodules ont été sciés diamétralement, un autre perpendiculairement. Les faces sciées ont été polies et présentent des lenticules de retrait tapissées de calcite cristallisée. Des nodules et autres gisements sont présentés pour permettre la comparaison.

Séance du 11 mai 1950.

PRÉSIDENCE DE M. N. BOUBÉE, VICE-PRÉSIDENT.

Membres nouveaux.

M^{mes} J. ESGARD, A. R. WEILL, M^{lle} R. FRANKLIN ; MM. J. BREMER, J. MERING, CH. LEGRAND, A. GRUND, présentés à la dernière séance, sont proclamés membres de la Société.

Présentations.

M. le Dr BRINDLEY de l'Université de Leeds, Angleterre, présenté par MM. Mering et Wyart.

M. COGNÉ J., stagiaire de recherches au C. N. R. S., section Géologie, Institut de Géologie, rue du Thabor, Rennes (I et IV), présenté par MM. Berthois et Milon.

M. KIEFER Ch., ingénieur-docteur, 9, rue Rieux, Boulogne-sur-Seine, présenté par MM. Sabatier et Saucier.

En ouvrant la séance, M. BOUBÉE fait part aux membres de la Société des lettres de remerciements de MM. les professeurs Bragg et Westgreen, élus membres honoraires à la séance du 13 janvier 1950, puis d'une lettre de M. le professeur J. Lemoine, président de la Société d'Histoire naturelle de Savoie, qui demande à la Société française de Minéralogie et de Cristallographie de rejeter le nom d'allevardite donné par M^{lle} Caillère au minéral de La Table (Savoie).

Lettre de M. le Président de la Société d'Histoire naturelle de Savoie, à M. le Président de la Société française de Minéralogie et de Cristallographie :

MONSIEUR LE PRÉSIDENT,

Ayant appris que M^{lle} Caillère, après des études répétées sur le minéral de La Table (Savoie), venait de le considérer comme un minéral nouveau et de le baptiser allevardite, le bureau de la Société d'Histoire naturelle de Savoie, dans sa réunion du vendredi 28 avril 1950, m'a chargé de protester auprès de votre compagnie, contre cette dénomination : *parce qu'elle consacrerait une erreur géographique.*

Ce minéral n'existe pas dans la région d'Allevard (Isère) où ne se rencontrent pas les calcaires bajocien-bathonien un peu siliceux, dans les plans de stratification où les fissures desquels il se trouve sur le territoire de la commune de La Table (Savoie). Voici d'ailleurs un très bref historique de ce minéral. Il a été signalé pour la première fois, il y a longtemps, par M. Léon Moret actuellement professeur de Géologie à l'Université de Grenoble, qui en avait envoyé un échantillon à l'Université de Lyon où il était resté en souffrance. Je l'ai redécouvert moi-même et l'ai porté également à Lyon où M. Longchambon en ayant fait une étude sommaire le rapporta à une kaolinite. M. Dérivé l'étudia ensuite et conclut à une paligorskite. M^{lle} Caillère confirma d'abord cette détermination ; aujourd'hui elle le considère comme un minéral nouveau auquel elle donne le nom précité, nom qui provoque l'envoi de cette lettre.

La S. H. N. S. demande à la Société minéralogique de France, de rejeter le nom d'allevardite et nous proposons de nommer le minéral *tabulite* (géographiquement) ou *dérivérite*, M. Dérivé étant celui qui l'a le premier sérieusement examiné.

Je me permettrai de donner un avis strictement personnel. Du point de vue macroscopique il n'a pas, à mon avis, été porté assez d'attention aux faits suivants : ce minéral est par-

omé de cristaux de quartz bipyramidés tous aplatis parallèlement à l'axe des pyramides et tous recouverts d'un mince film de substance, cristaux parfois microscopiques, mais pouvant atteindre 2 et même 3 centimètres de longueur ; je pense que l'on n'est pas en présence d'un minéral rigoureusement déterminable mais bien d'un phénomène *actif* de métasomatose. On le voit, en effet, passer en certains points et d'une manière sensiblement continue à un minéral vert, verdâtre à blanchâtre à structure fibreuse, rappelant celle de l'amiante ne renfermant plus, *en apparence*, de cristaux de quartz. La S. H. N. S. espère, M. le Président, que vous voudrez bien tenir compte de la rectification que nous désirons voir porter à la désignation du minéral de La Table et nous vous prions de croire à l'expression de nos sentiments les plus distingués.

E. LEMOINE,

Docteur ès sciences,
Professeur honoraire agrégé de l'Université,
Président de la Société d'Histoire naturelle de Savoie.

M. BOUBÉE donne d'abord la parole à M^{lle} Caillère qui pense que ce changement de nom n'est pas désirable et sera de plus très difficile, parce que ce minéral a déjà fait l'objet d'une note aux comptes rendus à l'Académie des Sciences sous le nom d'allevardite.

M. DÉRIBÉRÉ insiste pour une révision et demande une rectification dans une publication à la Société française de Minéralogie et de Cristallographie, ce qui sanctionnera le nouveau nom, plus que la prise de date aux comptes rendus de l'Académie des Sciences.

Après une discussion, il est décidé qu'il serait souhaitable de changer le nom du minéral si une note rectificative à l'Académie est possible et de l'appeler caillérinite.

Communications.

M. LUZZATI expose d'abord les résultats de son étude sur la structure cristalline de l'acide nitrique à une molécule d'eau. $\text{NO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ cristallise à $-37,7^\circ \text{C}$. Les cristaux ont été pré-

parés et manipulés suivant la technique mise au point en collaboration avec M. Bouttier.

La maille élémentaire orthorhombique contient 4 molécules $\text{HNO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$. Les dimensions sont :

$$a = 5,44 \pm 0,02 \text{ \AA} ;$$

$$b = 8,69 \pm 0,02 \text{ \AA} ;$$

$$c = 6,31 \pm 0,01 \text{ \AA} .$$

Groupe de symétrie : $P_{nc} - C_{2v}^9$.

L'auteur montre trois projections de la densité électronique qui lui ont permis de déterminer la structure et donne les coordonnées des atomes, les dimensions de la molécule HNO_3 et la disposition des liaisons hydrogène.

Après une discussion animée par M. Wyart, le Président remercie M. LUZZATI de son intéressant exposé.

Ensuite M. LAFFITE fait une communication sur la méthode de détermination rapide des feldspaths maclés albite (1).

La méthode de Nieuwenkamp nécessite de longues recherches sur les stéréogrammes représentant les propriétés des différents feldspaths calcosodiques.

Dans le cas des feldspaths maclés selon la loi de l'albite, l'auteur a construit une série d'abaques qui permettent de déterminer par simple lecture le pourcentage en anorthite.

Les grandeurs utilisées dans ces abaques sont celles qu'emploie M. Nieuwenkamp :

Logarithme du rapport des biréfringences de deux lamelles maclées.

Angles d'extinction des deux lamelles.

Le logarithme est déterminé soit à l'aide des mesures effectuées au compensateur de Berek, soit à partir de la position d'éclairement commun et du retard optique.

La méthode est rapide et les courbes proposées permettent de mettre en évidence les cas d'indétermination.

Le Président remercie M. LAFFITE d'avoir rendu accessible une méthode ardue.

(1) Spectrum publishers. New-York, Utrecht, Bruxelles.

Présentations d'échantillons.

M. CHAUVET présente un échantillon d'or, d'environ quelques grammes, provenant des haldes des anciennes mines de La Lucette dans la commune du Genest à 7 km. ouest de Laval. Ces mines sont abandonnées depuis 1935 ; cependant les déblais contiennent un certain nombre de minéraux tels que : la stibine, le mispickel en petits cristaux présentant les faces m (110), e^1 (011) et e^2 (012) ; la pyrite, la sidérose, la blende et l'or, généralement en mouches microscopiques mais parfois pépites plus importantes.

Les mines de La Lucette ont fourni des échantillons remarquables tant en or qu'en stibine, ces derniers pouvant rivaliser avec ceux de M. A. Lacroix avec ceux du Japon.

La formation quartzo-antimonieuse aurifère du gisement de La Lucette a été comparée par M. L. Michel aux gisements de Schönberg en Bohême et de Majurka en Hongrie ⁽¹⁾.

M. N. BOUBÉE présente, ensuite, de magnifiques échantillons de cristaux isolés, maclés de sphène vert transparent de la région de Vohemar, côte N.-E. de Madagascar ; le plus grand mesure 3,3 cm. de long sur 1,9 cm. de large ; une série de quartz cristallisés opalin verdâtre de la région d'Ananivato, côte N.-O. de Madagascar (cristaux à faces courbes, à faces d'accroissement, à inclusion, etc...) et une série de quartz cristallisés, isolés et groupés, provenant de la Haute-Loire : Aiguilles Rouges (Massif du Brévent), Aiguille Verte (Massif des Tines) et Grandes Jorasses (Massif du Mont Blanc).

Enfin M. le colonel VÉSIGNIE présente un important échantillon de polygorskite (Berglèder) servant de gangue à de nombreux cristaux isolés de magnétite, d'apatite, de calcite et de émolite, provenant de Hoken Riffel, Stubacktktal, Ober Pinz-berg, Land Salzburg, des sphéroïdes, de dimension variant de la grosseur d'une noix ordinaire à la grosseur d'une noix

⁽¹⁾ L. MICHEL. Sur les mines de La Lucette, *Bull. Soc. Fr. Min. et Crist.*, 1934, p. 79.

de coco, avec une surface hérissée de saillies crêtées et paraissant un peu usée par alluvionnement, en quartz opaque blanc laiteux avec de petites géodes de quartz hyalin. Ces formations, connues des géologues sous le nom de « morilles », abondent dans certaines moyennes terrasses quaternaires de la Charente. Il s'agit peut-être de concrétions siliceuses d'un crétacé érodé, ou peut-être de pseudomorphoses en quartz de sphéroïdes de marcassite provenant du sénonien (santonien) de Cognac.

Séance du 8 juin 1950.

PRÉSIDENCE DE M. MAUGUIN.

Membres nouveaux.

MM. BRINDLEY, COGNÉ, KIEFER, présentés à la dernière séance, sont proclamés membres de la Société.

Présentation.

INSTITUT DE MINÉRALOGIE DE L'UNIVERSITÉ DE GÖTTINGEN.
Lotzestrasse, Göttingen, présenté par MM. Orcel et Sandrea.

Après la lecture du procès-verbal de la séance du 14 mai 1950, M. J. ORCEL intervient au sujet du nouveau minéral décrit par M^{lle} Caillère, sous le nom d'allevardite.

Il s'excuse de n'avoir pu assister aux précédentes séances où ce nom a été discuté.

Il pense que le nom choisi et publié par M^{lle} Caillère doit être conservé, d'après l'usage suivi jusqu'à présent parmi les minéralogistes, d'adopter celui qui est proposé par l'auteur de la nouvelle espèce. On évite ainsi le risque d'une nouvelle synonymie.

D'autre part, lorsqu'on forge le nom de l'espèce d'après le lieu de sa découverte, on choisit autant que possible la loca-

ité la plus connue, voisine du gisement. Ainsi le nom de nontronite a été donné par Berthier à une argile dont le gisement est situé à Saint-Pardoux à 10 km. de Nontron, et l'on pourrait citer d'autres exemples du même genre dans la nomenclature minéralogique.

Les premières études de M^{lle} Caillère sur l'allevardite ont été effectuées sur des échantillons apportés au Laboratoire de Minéralogie du Muséum en 1926 par M. Legh Powell, et il est impossible de lui dédier la nouvelle espèce, puisque le nom de powellite existe déjà dans la nomenclature.

Le nom de tabulite pouvait suggérer un faciès qui n'est pas celui du minéral, et le nom de tablite, comme le rappelle Sandréa au cours de la séance, vient d'être donné à un témonioarséniate de cuivre et de cobalt d'un gisement métallifère d'Afrique du Sud.

Enfin M. J. Orcel remarque qu'il s'est glissé une erreur dans la lettre de M. Lemoine, puisque la première étude publiée de ce minéral date de 1934 et a été faite par M^{lle} Caillère, non par M. Dérivé.

Depuis, à mesure que les techniques se sont améliorées, le minéral a fait l'objet de diverses recherches au Laboratoire de Minéralogie du Muséum ; elles ont abouti au travail de M^{lle} Caillère et M. Hénin ont présenté à l'Académie des Sciences en février 1950.

M. MAUGUIN, président, fait remarquer avec M. Orcel que la Société n'est pas qualifiée pour choisir ou changer le nom du minéral. Il souhaite que M^{lle} Caillère et M. Lemoine puissent se mettre d'accord sur une dénomination.

M. MAUGUIN fait part ensuite aux membres de la Société :

— des lettres de remerciements de MM. Wyckoff et Slavik à la suite de leur nomination au titre de membre d'honneur de la Société française de Minéralogie et de Cristallographie.

— du décès de M. B. Popoff, le 11 mai 1950, à Upsala ;

M. B. Popoff était membre de la Société française de Minéralogie depuis 1927 ; né à Riga le 30 juillet 1871, il fut assistant

à l'Université de Saint-Pétersbourg, puis de 1920 à 1944, professeur de Minéralogie et de Géologie à l'Université de Riga ;

— enfin, de l'invitation de l'Institution minière et métallurgique à une conférence sur les câbles métalliques des mines, qui se tiendra du 19 au 23 septembre 1950 à Ashorne Hill, près de Leamington Spa, dans le Warwickshire (Angleterre) en coopération avec diverses fédérations des mines et de la métallurgie (1).

Communications.

M. P. CHATELAIN fait une communication sur « La diffusion de la lumière par les cristaux liquides » ; cette communication fera l'objet d'un prochain mémoire dans le Bulletin de la Société.

Ensuite, M. SANDRÉA présente quelques résultats récents obtenus en minéralogie microscopique par le professeur H. Schumann de l'Institut de Minéralogie de l'Université de Göttingen.

1) Observation en lumière convergente sur platine de Fédoroff. Ce résultat est obtenu en élevant de 3 cm. la lentille de lumière convergente, en diminuant la dimension des demi-boules et en utilisant un objectif à frontale plan concave, de grande distance frontale et d'o.-n. 0,38. A l'aide de cet ensemble on peut observer les lignes neutres de n'importe quelle section au moyen de rotations diverses des axes de la platine et mesurer avec précision les angles $2V$ par la dispersion des branches de l'hyperbole (2).

2) A l'aide de cet appareillage, H. Schumann à la suite d'une série d'observations a pu déterminer optiquement certains carbonates par la constance de l'angle dièdre compris entre la zone de biréfringence minimum et la zone d'indice égal à celui du baume (3).

(1) Pour tous renseignements complémentaires, s'adresser au Secrétariat de la Société française de Minéralogie et de Cristallographie.

(2) *Forstschrifte für Mineralogie*, 1941, V, XXV.

(3) *Heidelberger Beiträge*, 1948, n° 1, Heft 3-4.

Enfin, M. DEICHA, expose quelques résultats obtenus au cours de recherches d'inclusions à gaz comprimés, par écrasement de fragments minéraux au sein d'un liquide. Cette méthode simple permet d'observer directement le dégagement de gaz libéré sous forme de bulles. Ces bulles, beaucoup plus grosses que les inclusions dont elles proviennent, sont parfois visibles à l'œil nu, mais l'opération doit généralement être faite sous la loupe, de préférence sous une loupe binoculaire. Rapide, l'examen par écrasement permet des essais simples qui écourtent les observations microscopiques aux forts grossissements.

Le procédé permettra, par ailleurs, une meilleure connaissance de la composition des gaz emprisonnés par la cristallisation, et que l'écrasement libère pour les exposer aux problèmes d'analyses chimiques. M. DEICHA illustre sa communication par quelques exemples d'études de remplissages de mines, plus particulièrement de gangues de gîtes métallifères anciens. La multiplication de telles études permettra de donner au terme « pneumatolytique » son sens génétique précis.

SUR LES INDICES DES CRISTAUX LIQUIDES : MESURE PAR LA MÉTHODE DU PRISME ET ÉTUDE THÉORIQUE

PAR ODETTE PELLET ET PIERRE CHATELAIN,
Laboratoire de Minéralogie
de la Faculté des Sciences de Montpellier.

Sommaire. — Les indices de trois corps nématiques, mesurés par la méthode du prisme en fonction de la température et pour deux longueurs d'onde, sont donnés pour les phases cristal liquide et liquide isotrope dans la première partie de ce travail.

Dans la seconde partie les divers modes de calcul du champ de polarisation moléculaire sont discutés. Partant de ce que, dans le cristal liquide, il existe des domaines de l'ordre de $1/10$ de μ dans lesquels les molécules sont très sensiblement parallèles les unes aux autres, une modification au calcul classique de Lorentz-Lorenz est apportée ; elle conduit à une meilleure vérification expérimentale des résultats théoriques.

La mesure précise des indices des cristaux liquides est très délicate ; P. Chatelain (1) a donné, pour deux corps nématiques, le para-azoxy-anisol et le para-azoxy-phénétol, les valeurs de n_e et n_o , mesurées par la méthode des anneaux de Newton avec une précision relative de l'ordre de $1/200$. Depuis, il a indiqué (2) le moyen d'imposer, à une lame cristal liquide, une orientation uniforme dans toute son étendue, par simple frottement des parois et, dès ce moment, a montré la possibilité de mesurer les indices de ces corps par la méthode du prisme, méthode plus sûre et plus précise que celle des anneaux de Newton.

C'est cette méthode qui a été mise en œuvre ici ; nous donnerons les indices du para-azoxy-anisol et du para-azoxy-phénétol avec la précision relative de $1/1500$ ainsi que ceux de

anisaldazine, qui n'avaient pu être mesurés jusqu'ici. Cette précision est suffisante pour nous permettre de discuter des divers modes de calcul du champ de polarisation et de montrer comment le calcul classique de Lorentz-Lorenz doit être modifié dans le cas de la phase nématique.

I. — ÉTUDE EXPÉRIMENTALE.

Prisme.

Il fallait réaliser un prisme à liquide entièrement démontable, pour pouvoir frotter les faces d'entrée et de sortie de

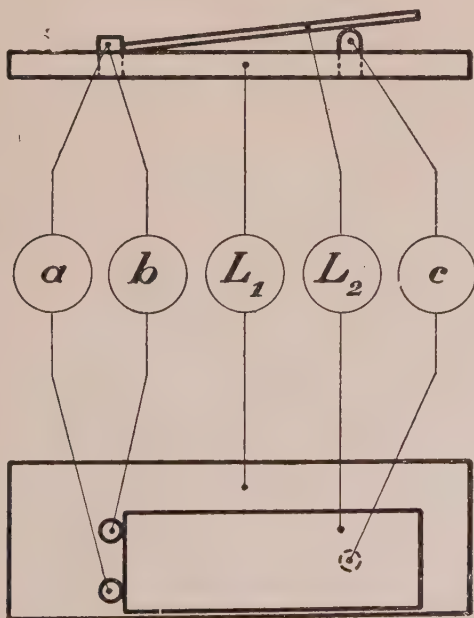


FIG. 1. — Projections verticale et horizontale du prisme.

lumière parallèlement à l'arête. Après divers essais nous avons fait construire un prisme constitué de deux lames (à faces parallèles à une frange près) L_1 ($4 \times 2,5$ cm.), L_2 ($2,5 \times$

1,5 cm.). L_1 est percée de trois trous rodés dans lesquels entrent les cales a , b , c ; L_2 est simplement posée sur L_1 comme l'indique la figure 1 ; a et b déterminent la direction de l'arête parallèlement aux petits côtés des lames, tandis que c , qui est formée d'un cylindre surmonté d'une demi-sphère détermine la valeur de l'angle A du prisme ; L_2 n'ayant qu'un point de contact avec c , cet angle est bien déterminé.

La suite des opérations à exécuter est la suivante : après avoir enlevé les cales a , b , c , les lames sont nettoyées chimiquement, puis leurs faces internes sont frottées sur du papier parallèlement à leurs petits côtés ; les cales étant replacées, la lame L_1 est posée horizontalement dans un petit four électrique, puis L_2 est mise en place ; le corps à étudier, solide à la température ordinaire, est déposé en quantité convenable sur L_1 au voisinage du prisme ; le four est fermé et chauffé, le corps fond et par capillarité s'introduit dans le prisme ; sous l'action du frottement les molécules de cristal liquide s'orientent de façon que leur direction d'allongement soit parallèle à celle du frottement. Au point de vue optique, ce prisme liquide est équivalent à un prisme taillé dans un cristal uniaxe positif, dont l'arête serait parallèle à l'axe optique. Il permet la mesure des deux indices n_c et n_o en fonction de la température et de la longueur d'onde. Rappelons, en effet, que par suite de l'agitation thermique les molécules sont écartées à chaque instant de la direction du frottement qui représente une orientation moyenne, l'agitation thermique croissant avec la température, il s'ensuit des variations considérables des indices avec ce facteur.

Les mesures sont faites en plaçant le four sur la plate-forme d'un goniomètre à axe horizontal (nous remercions M. Canals, doyen de la Faculté de Pharmacie, qui a mis à notre disposition cet appareil). Deux trous, percés dans le four et fermés par des glaces, permettent la mesure de l'angle A du prisme et celle des déviations minima relatives à n_c et n_o . Avec un peu d'habitude, en maintenant la lame L_2 au voisinage de l'horizontale, le prisme ne se dérègle pas ; du reste seules ont

été retenues les séries de mesures pour lesquelles les valeurs trouvées pour A, au début et à la fin, étaient identiques.

La dimension de la cale c est telle que A vaut 9° environ; l'angle aussi faible a été choisi parce que les cristaux liquides diffusant beaucoup de lumière, la partie utile du faisceau de lumière transmis est celle qui a traversé des épaisseurs inférieures à 1 mm. ; si l'angle A était plus grand, cette intensité serait trop faible, les images peu lumineuses, noyées dans la lumière diffusée, et élargies par diffraction.

La température a été mesurée à l'aide d'un thermomètre à mercure placé dans le four, une échelle de correction ayant été établie au préalable pour tenir compte des différences de températures existant entre le prisme et le réservoir du thermomètre.

Les images de la fente du goniomètre sont excellentes chaque fois que la préparation est bien orientée; les deux spectres sont très largement séparés par suite de la valeur considérable de la biréfringence.

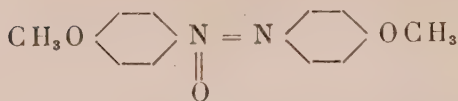
Voici, pour fixer les idées, les résultats d'une mesure avec para-azoxy-anisol à la température de 125° :

$$\begin{array}{llll} = 8^{\circ}48'20'' & \lambda = 0 \mu 589 & D_{n_o} = 5^{\circ}0'0'' & D_{n_e} = 7^{\circ}18'20' \\ & \lambda = 0 \mu 546 & D_{n_o} = 5^{\circ}5'40'' & D_{n_e} = 7^{\circ}37'10' \end{array}$$

Résultats des mesures.

Nous donnons les résultats des mesures pour les raies jaune du sodium et verte du mercure dans le domaine d'existence de la phase nématique et un peu au-dessous de la température de fusion t_1 , ces corps restant facilement en surfusion; ainsi que les valeurs de l'indice du liquide isotrope devenu au-dessus de la température de transformation t_2 du cristal liquide en liquide isotrope.

TABLEAU I. — Para-Azoxy-Anisol.

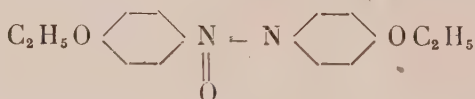


$t_1 = 117^\circ$

$t_2 = 134^\circ$

	t°	0,589		0,546	
		n_o	n_e	n_o	n_e
Cristal liquide	105°	1,558	1,875	1,568	1,907
	110°	1,559	1,865	1,569	1,898
	114°	1,560	1,856	1,570	1,890
	117°	1,561	1,849	1,571	1,884
	120°	1,563	1,842	1,572	1,877
	122°	1,564	1,836	1,574	1,872
	125°	1,566	1,825	1,576	1,862
	128°	1,569	1,814	1,578	1,850
	130°	1,571	1,806	1,581	1,843
	132°	1,576	1,795	1,584	1,833
	136°	1,644		1,661	
Liquide isotrope	140°	1,641		1,658	
	145°	1,638		1,656	
	150°	1,636		1,654	

TABLEAU II. — Para-Azoxy-Phénétol.

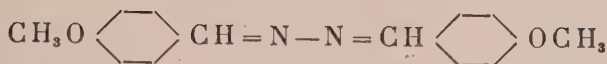


$t_1 = 135^\circ$

$t_2 = 165^\circ$

	t°	0,589		0,546	
		n_o	n_e	n_o	n_e
Cristal liquide	135°	1,518	1,843	1,524	1,871
	140°	1,519	1,833	1,524	1,863
	145°	1,519	1,823	1,525	1,854
	150°	1,520	1,812	1,526	1,842
	155°	1,521	1,800	1,528	1,829
	160°	1,524	1,783	1,532	1,812
	163°	1,528	1,770	1,536	1,797
	164°	1,529	1,764	1,537	1,790
	167°	1,604		1,618	
Liquide isotrope	170°	1,601		1,614	
	175°	1,598		1,611	
	180°	1,596		1,609	

TABLEAU III. — Anisaldazine.



$$t_1 = 166^\circ$$

$$t_2 = 179^\circ 5$$

	t_0	0,589		0,546	
		n_0	n_e	n_0	n_e
Cristal liquide	157°	1,536	1,859	1,545	1,880
	160°	1,537	1,852	1,546	1,874
	165°	1,539	1,840	1,547	1,863
	170°	1,542	1,825	1,550	1,850
	175°	1,546	1,808	1,556	1,831
	178°	1,549	1,791	1,560	1,813
liquide isotrope	180°	1,626		1,640	
	184°	1,623		1,637	
	187°	1,621		1,635	

Précision des mesures.

Les erreurs sur les mesures des angles du prisme et des réfractations minima sont de l'ordre de 30 à 40 secondes; étant donné que nous avons pris les valeurs moyennes de plusieurs séries de mesures, l'erreur relative est de 1/1.500, soit environ une unité de la troisième décimale.

Il n'y a pas lieu de chercher une plus grande précision, en fait les indices varient beaucoup avec la température, n_e en particulier; si nous voulions donner la 4^e décimale il faudrait, pour que cela eût un sens, connaître la température à 1/25 de degré près; cela est presque impossible dans les conditions où l'on doit opérer.

La précision obtenue ici est très supérieure à celle de $1/200$ à $1/400$ indiquée par P. Chatelain. Si nos résultats sont comparés aux siens, il apparaît des écarts parfois supérieurs aux erreurs ; cela tient probablement à ce que les préparations utilisées dans la méthode des anneaux de Newton étaient constituées par des plages à structures hélicoïdales de torsion considérable, leur épaisseur étant au plus de quelques microns : or Mauguin (3) a montré que les indices principaux des plages hélicoïdales pouvaient différer sensiblement des indices n_e et n_o dans le cas où la torsion est très élevée ; cette cause d'erreur n'existe pas ici.

En revanche, il n'est pas possible de faire, par la méthode du prisme, par suite de l'absorption, des mesures visuelles au delà du bleu ; ces mesures ont été possibles par la méthode des anneaux de Newton par suite de la faible épaisseur traversée par la lumière.

A tous les autres points de vue, précision, rapidité (une journée suffit pour faire des mesures complètes pour plusieurs longueurs d'onde) et sûreté de l'interprétation des mesures, elle est bien préférable à la méthode des anneaux de Newton.

II. — RELATIONS ENTRE LES INDICES A L'ÉTAT SOLIDE, LIQUIDE ANISOTROPE ET LIQUIDE ISOTROPE.

Les diverses théories, établissant des relations entre les indices d'un même corps dans ses diverses phases, diffèrent, entre elles, par le mode de calcul du champ polarisant chaque molécule ; les résultats obtenus, très différents dans leur forme, se vérifient expérimentalement presque aussi bien, si les mesures sont peu précises, les écarts observés entre les résultats théoriques et expérimentaux étant de l'ordre de grandeur des erreurs ; étant données les variations considérables des indices en fonction de la température observées dans le cas étudié ici, et la précision actuellement atteinte, nous avons pensé qu'il serait possible de différencier les diverses théories.

Notations.

Nous désignerons par \vec{V} le champ électrique transporté par le faisceau lumineux polarisé se propageant dans le vide ; par le champ polarisant les molécules du corps étudié lorsqu'il est traversé par le faisceau lumineux précédent ; par A, B, les polarisabilités principales de nos molécules, C étant dirigé suivant leur direction d'allongement. Nous repérons l'orientation de l'une d'elles dans les phases liquides par rapport à un trièdre trirectangle $oxyz$, ox étant dirigé suivant

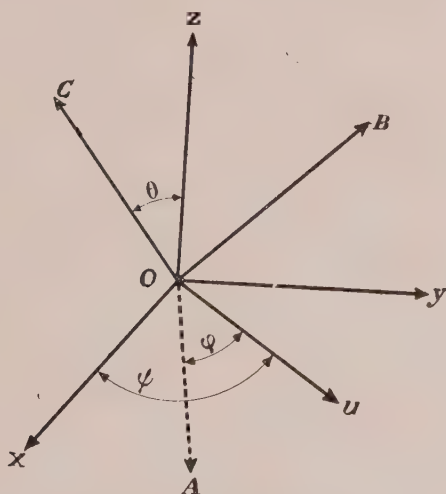


FIG. 2. — Axes de référence.

Ox, Oy, Oz , trièdre trirectangle de référence.
 OA, OB, OC , directions des polarisabilités principales d'une molécule.
 ou , intersection du plan AOB avec oxy .
 Direction du champ électrique : Oy ou Oz suivant l'état de polarisation.
 direction de propagation de la lumière, \vec{V} sera orienté soit suivant oz , soit suivant oy suivant l'état de polarisation ; ou suivant l'intersection du plan AB de la molécule envisagée avec oy , nous désignerons par θ, ψ et φ les angles $\widehat{oz, oC}, \widehat{ox, ou}, \widehat{ou, oA}$ (fig. 2). \vec{P} sera la polarisation macroscopique prise par le milieu sous l'action du champ \vec{V} ; si n est l'indice du milieu

relatif à la vibration \vec{V} , on a, en calculant de deux façons la valeur du vecteur induction :

$$n^2 \vec{V} = \vec{V} + 4 \pi \vec{P} \quad \text{d'où} \quad \vec{P} = \vec{V} \frac{n^2 - 1}{4 \pi}.$$

Si \vec{p} est la polarisation d'une molécule donnée, ν le nombre de molécules dans l'unité de volume

$$P = \nu \bar{p}_\nu$$

en désignant par \bar{p}_ν la valeur moyenne de la projection de \vec{p} sur la direction de \vec{V} .

Enfin si d est la densité à la température envisagée, M la masse moléculaire du corps étudié, N le nombre d'Avogadro

$$\nu = \frac{N}{M} d',$$

d_s sera la densité du solide, d_{cl} celle du cristal liquide, d_l celle du liquide isotrope.

Calcul du champ de polarisation \vec{E} .

a) Dans les calculs conduisant aux relations de Sellmeyer on admet que

$$\vec{E} = \vec{V}.$$

b) Lorentz a essayé de tenir compte du champ supplémentaire dû à la polarisation du milieu; pour cela il découpe autour de la molécule envisagée *une sphère dont le rayon soit grand vis-à-vis des dimensions de cette molécule et petit vis-à-vis de la longueur d'onde de la lumière* de façon à pouvoir considérer que \vec{V} est constant en tous les points de cette sphère à un instant donné. Dans ces conditions il démontre que

$$\vec{E} = \vec{V} + \frac{4 \pi}{3} \vec{P} = \vec{V} \frac{n^2 + 2}{3},$$

n étant l'indice du milieu supposé isotrope.

Si le milieu n'est pas isotrope cette relation reste valable dans certaines conditions :

1° *Cas d'un solide cristallisé* : si \vec{V} est parallèle à l'un des axes de l'ellipsoïde des indices (n_g par exemple)

$$\vec{E} = \vec{V} \frac{n_g^2 + 2}{3} .$$

2° *Cas d'un liquide anisotrope* présentant un axe de révolution, c'est-à-dire se comportant comme un milieu uniaxe d'indices principaux n_e et n_o ; si \vec{V} est parallèle à l'axe optique

$$\vec{E} = \vec{V} \frac{n_e^2 + 2}{3} ,$$

si \vec{V} est perpendiculaire à l'axe optique

$$\vec{E} = \vec{V} \frac{n_o^2 + 2}{3} .$$

Ceci suppose que la polarisation à la surface de la sphère de Lorentz est égale à la polarisation moyenne prise par le milieu sous l'action du champ \vec{V} ; ceci est exact pour le solide, nous admettons que dans le liquide anisotrope cela suppose qu'à la surface de la sphère de Lorentz l'orientation moyenne des molécules n'est pas liée à l'orientation de la molécule située au centre et sur laquelle va s'exercer le champ \vec{E} .

*Relations entre les indices
et les polarisibilités principales A, B, C.*

11° *Solide*. — Les molécules dans le para-azoxy-anisol et le para-azoxy-phénétol sont dans le solide toutes parallèles ainsi l'ont montré les structures de ces deux corps, établies au moyen des rayons X (4) et (5). Les axes de l'ellipsoïde des indices n_p , n_m , n_g , sont respectivement parallèles aux directions de polarisibilités principales A, B, C. La lumière traversant un champ \vec{V} parallèle à C crée un champ \vec{E} parallèle, la molécule prend une polarisation :

$$\vec{p}_e = C \vec{E}$$

toutes les molécules étant parallèles :

$$\vec{P}_c = \nu \vec{p}_c = \nu C \vec{E}$$

ou

$$\vec{P}_c = \frac{N}{M} d_s C \vec{E}$$

comme

$$\vec{P}_c = \vec{V} \frac{n_g^2 - 1}{4 \pi}$$

on a finalement
$$\frac{n_g^2 - 1}{4 \pi} \vec{V} = \frac{N}{M} d_s C \vec{E}.$$

a) Si on admet $\vec{E} = \vec{V}$ on tire de là :

$$(n_g^2 - 1) \frac{1}{d_s} = \frac{4 \pi N}{M} C.$$

On établirait de même les relations analogues :

$$(n_p^2 - 1) \frac{1}{d_s} = \frac{4 \pi N}{M} A \quad (n_m^2 - 1) \frac{1}{d_s} = 4 \pi \frac{N}{M} B.$$

b) Si on prend comme Lorentz

$$\vec{E} = \frac{n_g^2 + 2}{3} \vec{V}$$

on aura

$$\frac{n_g^2 - 1}{n_g^2 + 2} \frac{1}{d_s} = \frac{4 \pi}{3} \frac{N}{M} C$$

et les relations analogues pour n_p et n_m .

2° *Cas du liquide isotrope.* — Les molécules ont ici une direction quelconque; supposons que \vec{V} soit parallèle à oz (fig. 2), \vec{E} sera parallèle à \vec{V} par symétrie; sous l'action de \vec{E} la molécule se polarise et la composante suivant oz de \vec{p} vaut :

$$p_z = [A \sin^2 \varphi \sin^2 \theta + B \cos^2 \varphi \sin^2 \theta + C \cos^2 \theta] E.$$

Le milieu prend une polarisation P dirigée suivant oz , telle que

$$P = \nu \bar{p}_z.$$

Le liquide étant isotrope

$$\bar{p}_z = \frac{A + B + C}{3} E$$

d'où

$$a) \text{ si } \vec{E} = \vec{V} \quad (n^2 - 1) \frac{1}{d} = \frac{4 \pi N}{M} \frac{A + B + C}{3}.$$

$$b) \text{ si } \vec{E} = \vec{V} \quad \frac{n^2 + 2}{3} \frac{n^2 - 1}{n^2 + 2} \frac{1}{d} = \frac{4 \pi N}{3 M} \frac{A + B + C}{3}.$$

3° *Cas du cristal liquide.* — Dans le cristal liquide orienté, le désordre n'est pas complet, les molécules ont leur allongement dirigé en moyenne suivant la direction du frottement \vec{D} . \vec{D} est un axe d'isotropie pour le milieu et le seul, alors que dans le liquide isotrope toute direction est axe de révolution.

Supposons oz et \vec{D} confondus (fig. 2), pour connaître la répartition des orientations des molécules dans le milieu il faut connaître la fonction de répartition $f(\theta)$ permettant de calculer le nombre de molécules $d\nu$ contenues dans l'unité de volume et dont les axes C font avec \vec{D} des angles compris entre θ et $\theta + d\theta$.

$$d\nu = f(\theta) \times 2 \pi \sin \theta d\theta$$

d'où

$$\nu = \int_0^{\frac{\pi}{2}} f(\theta) \times 2 \pi \sin \theta d\theta.$$

Si \vec{V} est dirigé suivant oz , \vec{E} est par raison de symétrie, dirigé suivant oz et

$$\bar{P} = \nu \bar{p}_z$$

P. Chatelain a montré (1) que dans le cristal liquide orienté

$$\bar{P} = \nu \bar{p}_z = \frac{N}{M} d \left[C - \left(C - \frac{A + B}{2} \right) I_3 \right] E$$

en posant

$$I_3 = \frac{1}{\nu} \int_0^{\frac{\pi}{2}} f(\theta) 2 \pi \sin^3 \theta d\theta$$

Comme on a aussi

$$\vec{P} = \vec{V} \frac{n_e^2 - 1}{4 \pi}.$$

Il en résulte que

$$a) \text{ si } \vec{E} = \vec{V} \quad (n_e^2 - 1) \frac{1}{d_{cl}} = 4 \pi \frac{N}{M} \left[C - \left(C - \frac{A+B}{2} \right) I_3 \right]$$

$$b) \text{ si } \vec{E} = \vec{V} \frac{n_e^2 + 2}{3} \frac{n_e^2 - 1}{n_e^2 + 2} \frac{1}{d_{cl}} = \frac{4 \pi}{3} \frac{N}{M} \left[C - \left(C - \frac{A+B}{2} \right) I_3 \right].$$

Si \vec{V} est perpendiculaire à D, c'est-à-dire dirigé suivant *oy* perpendiculaire à l'axe optique du milieu cristal liquide, on aurait par un calcul analogue

$$(n_o^2 - 1) \frac{1}{d_{cl}} = 4 \pi \frac{N}{M} \left[\frac{A+B}{2} + \frac{1}{2} \left(C - \frac{A+B}{2} \right) I_3 \right]$$

ou

$$\frac{n_o^2 - 1}{n_o^2 + 2} \frac{1}{d_{cl}} = \frac{4 \pi}{3} \frac{N}{M} \left[\frac{A+B}{2} + \frac{1}{2} \left(C - \frac{A+B}{2} \right) I_3 \right].$$

De ces diverses relations on déduit les relations ci-dessous indépendantes de I_3 :

$$a) \text{ si } \vec{E} = \vec{V} \frac{1}{3} \left[(n_e^2 - 1) + 2(n_o^2 - 1) \right] \frac{1}{d_{cl}} = 4 \pi \frac{N}{M} \frac{A+B+C}{3}$$

$$b) \text{ si } \vec{E} = \vec{V} \frac{n^2 + 2}{3} \\ \frac{1}{3} \left[\frac{n_e^2 - 1}{n_e^2 - 2} + 2 \frac{n_o^2 - 1}{n_o^2 + 2} \right] \frac{1}{d_{cl}} = \frac{4 \pi}{3} \frac{N}{M} \frac{A+B+C}{3}.$$

Si nous rapprochons ces résultats de ceux obtenus pour le solide et le liquide isotrope, on voit que :

a) si $\vec{E} = \vec{V}$ on doit avoir :

$$\begin{aligned} \frac{1}{3} \left[(n_s^2 - 1) + (n_m^2 - 1) + (n_p^2 - 1) \right] \frac{1}{d_s} &= \\ &= \frac{1}{3} \left[(n_e^2 - 1) + 2(n_o^2 - 1) \right] \frac{1}{d_{cl}} = (n^2 - 1) \frac{1}{d_l} = K_1, \end{aligned}$$

b) si avec Lorentz on admet $\vec{E} = \vec{V} \frac{n^2 + 2}{3}$

$$\frac{1}{3} \left[\frac{n_g^2 - 1}{n_g^2 + 2} + \frac{n_m^2 - 1}{n_m^2 + 2} + \frac{n_p^2 - 1}{n_p^2 + 2} \right] \frac{1}{d_s} =$$

$$= \frac{1}{3} \left[\frac{n_c^2 - 1}{n_c^2 + 2} + 2 \frac{n_o^2 - 1}{n_o^2 + 2} \right] \frac{1}{d_{cl}} = \frac{n^2 - 1}{n^2 + 2} \frac{1}{d_l} = K_2.$$

Les quantités K_1 ou K_2 sont des constantes indépendantes de la phase considérée et, dans une même phase, de la température, elles ne dépendent que de la longueur d'onde.

Vérifications expérimentales.

Nous avons calculé les valeurs de K_1 et de K_2 pour le para-oxo-xy-anisol et la raie D du Sodium en utilisant pour le solide les valeurs des indices données par P. Chatelain, pour les phases liquides les valeurs données ici, et pour les densités aux diverses températures les nombres donnés par Schenk (6).

	SOLIDE	CRISTAL LIQUIDE					LIQUIDE ISOTROPE	
t°		110°	117°	122°	128°	132°	136°	145°
K_1	1,685	1,513	1,508	1,505	1,499	1,497	1,485	1,479
K_2	0,302	0,311	0,312	0,312	0,313	0,314	0,316	0,316

Il ressort de ce tableau que ni K_1 ni K_2 ne sont des constantes ; ils varient et ces variations sont très supérieures aux écarts dus à l'imprécision des mesures ; en effet K_1 et K_2 sont connus avec des erreurs absolues respectivement inférieures à 0,005 et 0,001.

Les variations relatives de K_2 sont nettement inférieures aux variations de K_1 , le calcul du champ de polarisation par méthode de Lorentz paraît plus satisfaisant ; mais K_2 ne

conserve pas la valeur 0,302 dans les phases liquides, l'écart entre les nombres expérimentaux et la valeur théorique (0,302) est en moyenne de 0,012, soit un écart relatif de 6/150 ; de plus, dans la phase cristal liquide, nous avons un accroissement continu de K_2 avec t que ne laisse pas prévoir la théorie.

Nouveau calcul de \vec{E} .

Nous allons montrer qu'un autre calcul de \vec{E} conduit à des résultats mieux vérifiés expérimentalement.

La relation

$$\vec{E} = \vec{V} + \frac{4\pi}{3} \vec{P}$$

est établie en admettant que les charges qui apparaissent sur la sphère de Lorentz découpée autour de la molécule étudiée, se calculent à partir de la polarisation \vec{P} du milieu sous l'action du champ \vec{V} .

Dans le cas du cristal liquide ceci serait exact si, sur la surface de la sphère de Lorentz, les orientations des molécules étaient réparties de telle sorte que toutes les orientations soient représentées et que le nombre de molécules dont l'axe C fait un angle compris entre θ et $\theta + d\theta$ soit proportionnel, comme dans la masse du liquide, à $f(\theta) 2\pi \sin \theta d\theta$.

Or l'étude de la diffusion de la lumière par les cristaux liquides (7) montre que dans des domaines de l'ordre de 0,2 μ , les molécules sont sensiblement parallèles entre elles ; comme le rayon de la sphère de Lorentz doit être pris petit vis-à-vis de la longueur d'onde de la lumière, par exemple 0,02 μ , *en général les molécules situées sur la sphère de Lorentz seront parallèles à la molécule située au centre.* Si \vec{p} est la polarisation de la molécule située au centre, le champ créé par les molécules parallèles à celle-ci situées sur la sphère de Lorentz, sera au centre égal à :

$$\frac{4\pi}{3} \vec{p}$$

au lieu de

$$\frac{4}{3} \pi \nu \bar{p} = \frac{4}{3} \pi P.$$

Le champ polarisant la molécule envisagée sera :

$$\vec{E} = \vec{V} + \frac{4}{3} \pi \nu \vec{p}.$$

Dans cette relation \vec{V} et \vec{p} auront en général des directions différentes, \vec{E} , *localement*, aura donc une direction différente de \vec{V} , sa direction moyenne restant celle de \vec{V} dans les cas étudiés ici; nous avons des fluctuations d'orientation du champ de polarisation \vec{E} , correspondant aux fluctuations d'orientation des molécules sous l'action de l'agitation thermique.

Les composantes de \vec{E} suivant les trois directions de polarisabilité de la molécule auront donc pour valeur :

$$\vec{E} \left\{ \begin{array}{l} E_A = V_A + \frac{4}{3} \pi \nu p_A \\ E_B = V_B + \frac{4}{3} \pi \nu p_B \\ E_C = V_C + \frac{4}{3} \pi \nu p_C. \end{array} \right.$$

Remplaçant les composantes de \vec{E} par ces valeurs dans les relations

$$p_A = A E_A \quad p_B = B E_B \quad p_C = C E_C$$

en tirant les composantes de \vec{p} des équations linéaires ainsi obtenues on a finalement :

$$\vec{p} \left\{ \begin{array}{l} p_A = \frac{A}{1 - \frac{4}{3} \pi \nu A} V_A \\ p_B = \frac{B}{1 - \frac{4}{3} \pi \nu B} V_B \\ p_C = \frac{C}{1 - \frac{4}{3} \pi \nu C} V_C. \end{array} \right.$$

Et nous pouvons reprendre les calculs antérieurs, relatifs au cristal liquide, en remplaçant A, B, C par

$$A' = \frac{A}{1 - \frac{4\pi}{3} \nu A} \quad B' = \frac{B}{1 - \frac{4\pi}{3} \nu B} \quad C' = \frac{C}{1 - \frac{4\pi}{3} \nu C}$$

et en remarquant, qu'à condition de prendre A', B', C' pour polarisibilités principales des molécules, le champ de polarisation est *en apparence* égal à \vec{V} , nous aboutissons à la relation :

$$\frac{1}{3} [(n_e^2 - 1) + 2(n_o^2 - 1)] \frac{1}{d_{cl}} = 4\pi \frac{N}{M} \frac{(A' + B' + C')}{3}.$$

Si nous admettons que, dans le liquide isotrope, comme dans le cristal liquide, il est encore correct de calculer le champ de polarisation comme nous l'avons fait ici, on aurait :

$$(n^2 - 1) \frac{1}{d_l} = 4\pi \frac{N}{M} \frac{(A' + B' + C')}{3}.$$

Vérification expérimentale.

Les valeurs de A, B, C sont données par les valeurs des indices du solide, les relations liant A, B, C et ν à A', B', C' permettent de calculer pour chaque valeur de ν , c'est-à-dire pour chaque valeur de t , les valeurs de la quantité

$$\frac{4\pi N}{M} \frac{A' + B' + C'}{3} = U \text{ théorique}$$

dans les deux phases cristal liquide et liquide isotrope.

Nous pouvons par ailleurs calculer, à partir de nos valeurs expérimentales trouvées pour n_o, n_e et n , la valeur U expérimentale :

$$\frac{1}{3} [(n_e^2 - 1) + 2(n_o^2 - 1)] \frac{1}{d_{cl}} \quad \text{ou} \quad (n^2 - 1) \times \frac{1}{d_l}.$$

Voici les résultats obtenus pour le para-azoxy-anisol et la série D du Sodium :

t°	CRISTAL LIQUIDE					LIQUIDE ISOTROPE	
	110°	117°	122°	128°	132°	136°	145°
U théorique.....	1,507	1,500	1,496	1,490	1,486	1,479	1,472
U expérimental ...	1,513	1,508	1,503	1,499	1,497	1,483	1,479

Il y a un écart systématique entre U théorique et U expérimental, il peut être dû à ce que n_g , n_m , n_p et d_s relatifs au cristal solide qui servent à calculer U théorique sont probablement connus avec une erreur supérieure à 1/1.500°. Mais quoi qu'il en soit, cet écart est inférieur en valeur absolue à 0.10, soit en valeur relative, inférieur à 1/150, très nettement inférieur à l'écart relatif à K_2 qui est de 6/150°.

À noter que les variations de U expérimental, soit dans la phase cristal liquide, soit même dans la phase liquide isotrope, sont non seulement dans le même sens mais très voisines des variations de U théorique.

Le para-azoxy-phénétol donne des résultats analogues.

Conclusion.

La méthode du prisme, plus précise que les méthodes utilisées antérieurement, nous permet d'affirmer qu'il est plus exact de calculer le champ de polarisation dans le cristal solide, et peut-être même dans le liquide isotrope, en admettant que les molécules sur la surface de la sphère de Lorentz sont orientées comme la molécule située au centre de la sphère. Nous verrons ultérieurement que ce point de vue rend beaucoup mieux compte des phénomènes observés dans l'étude de la diffusion de la lumière polarisée, par une lame cristal liquide orientée.

BIBLIOGRAPHIE

1. CHATELAIN, P. (1937). — *Bull. Soc. franç. Min.*, 50, 280.
 2. CHATELAIN, P. (1943). — *Bull. Soc. franç. Min.*, 66, 105.
 3. MAUGUIN, Ch. (1911). — *Bull. Soc. franç. Min.*, 34, 71.
 4. WURSTLIN, F. (1931). — *Z. f. Krist.*, 79, 255.
 5. BERNAL et CROWFOOT (1933). — *Trans. of Faraday, Soc.*, 29, 1032.
 6. SCHENK, R. (1898). — *Z. f. Phys. Chem.*, 27, 167.
 7. CHATELAIN, P. (1948). — *Acta Crystallographica*, 4, 315.
-

SUR UNE NOUVELLE VARIÉTÉ D'IDOCRASE DE L'OUED EL ACHEK (MAROC)

PAR A. P. SANDREA,

Laboratoire de Minéralogie du Muséum, Paris.

Sommaire. — Il s'agit d'un minéral rose vif, abondant dans un banc calcaire cipolin, situé au NE du Djebel Izougerz, le long de l'Oued el Achek (Feuille topographique 1/50.000^e. Agelmous, Maroc). Recueilli en juin 1949.

Le minéral est polychroïque en rose et jaune, n moyen = 1.74, peu biréfringent, uniaxe négatif, et présente des zones marginales biaxes positives, très dispersives. ($d = 3.45$.)

L'analyse chimique donne une composition d'alumino-silicate de calcium de contact calcaire : $\text{SiO}_2 = 40 \%$; $\text{CaO} = 31 \%$; $\text{Al}_2\text{O}_3 = 11 \%$; $\text{Fe}_2\text{O}_3 = 5 \%$; $\text{MgO} = 4 \%$; TiO_2 , K_2O , Na_2O , $\text{H}_2\text{O} = 8 \%$.

Les diagrammes de rayons X indiquent une structure étroitement parentée à l'idocrase.

Il s'agit donc d'une nouvelle variété d'idocrase *rose*, titanée, non manganésifère, sans bore ni fluor, présentant des aberrations optiques analogues à celles du groupe des Wiluites.

En juillet 1949, M. le professeur E. Raguin nous a confié l'étude d'un minéral rose vif abondamment représenté dans un échantillon de cipolin.

L'échantillon en question a été recueilli par M. Champetier de Ribes au cours de l'excursion annuelle des élèves de 4^e année de l'École Nat. Sup. des Mines, au Maroc. — Il provient d'un banc de calcaire métamorphique, situé près de l'Oued el Achek, au NE du Djebel Izougerz, à quelques kilomètres de la mine de Djebel Aouam. (Carte topographique du Maroc au 1/50.000^e. Feuille d'Agelmous⁽¹⁾.)

Le minéral rose constitue près de 25-30 % de la roche ; il se présente en amas irréguliers, informes, ayant 1 à 2,5 mm.

(1) Renseignements communiqués par M. E. RAGUIN.

de diamètre, et rappelant le grenat, mais dépourvus de toute forme cristalline nette.

Le reste de la roche semble uniquement constitué par des carbonates ; la partie blanche fait une très brève effervescence à HCl 1/2 N à froid.

Au microscope, on voit que la roche est formée par environ 60 % de carbonates : quelques sections sont limpides, la plupart présentent un aspect terne, gris, très légèrement brunâtre.

On peut observer quelques cristaux incolores à macles polysynthétiques, et biréfringence très basse, de zoïsite : souvent cette zoïsite forme une bordure de séparation entre des grains du minéral rose et des plages de carbonate. — Quelques rares grenats andradites minuscules, ainsi que des diopsides-hédénbergites vertes, complètent la composition (cliché 3).

Le minéral rose se présente en amas plus ou moins polygonaux aux éléments assez distincts, bien limités : les formes allongées semblent prédominer. — Les cristaux sont souvent fortement épigénéisés par la calcite.

Les individus de grosse taille sont souvent constitués par une masse centrale colorée en rose nacré (éclat des hauts indices) bordée d'une étroite zone marginale faisant corps avec le centre (clichés 1-2-3), colorée en jaune pâle.

L'ensemble est intensément polychroïque.

	n_g	n_p	$n_g - n_p$
Centre	rose saumon	jaune citron pâle	0.004-0.05
Bords	jaune pâle rosé	incolore, teinté de jaune	0,002-0,0035 $\rho > v$

Dans la zone bordière, la dispersion des biréfringences est très élevée ($\rho > v$) provoquant en lumière polarisée parallèle des teintes bleu nuit mauve, intenses (cliché 2).

L'ensemble présente de très vagues clivages parallèles, suivant lesquels l'extinction semble être droite.

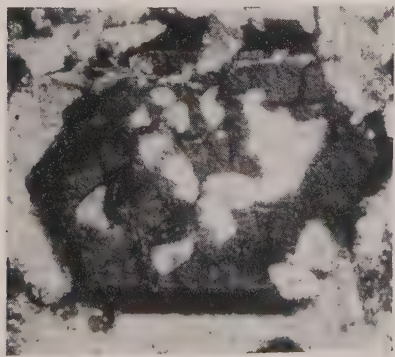


FIG. 1.

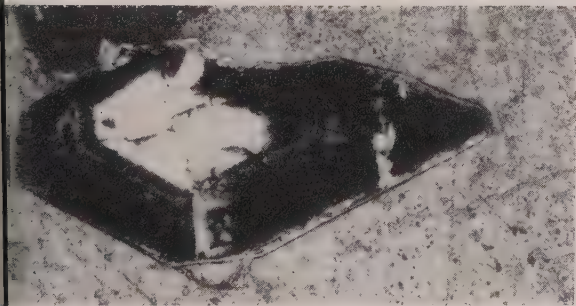


FIG. 2.

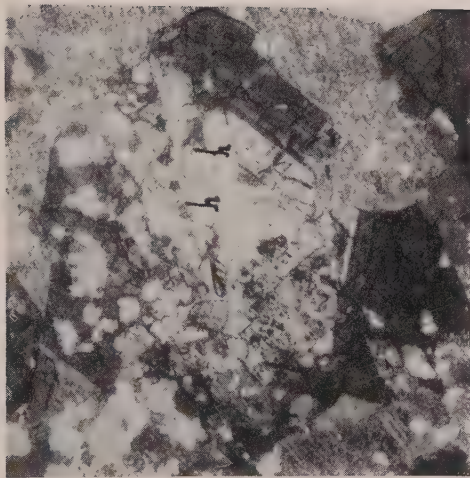


FIG. 3.

Fig. 1. — Cristal d'idocrase rose montrant la zonalité marginale jaune néo-isotrope ($\rho > v$). Nicols croisés (65°) $\times 75$.
 Fig. 2. — Section intéressant la zone sommitale d'idocrase rose zoné. On remarque une dispersion élevée des bords ($\rho > v$).
 Nicols croisés (80°) $\times 95$.

Fig. 3. — Gros cristal zoné rempli de calcite d'épigénèse. h = hédénbergite. Nicols croisés (45°) $\times 45$.

Le minéral est uniaxe négatif au centre et biaxe positif, $V = 63^{\circ}-65^{\circ}$ ⁽¹⁾ sur les bords.

Indices moyens : $n_g 1.752 - n_p 1.746$ ⁽²⁾ ⁽³⁾.

Avec ces caractères, le champ des hypothèses demeurerait néanmoins vaste.

La coloration et l'aspect du minéral ouvraient les possibilités suivantes :

1^o *La Cérîte rose* (type Ryddarhyttan) (Suède).

(Cette hypothèse a été rendue possible par la difficulté d'attaque et le poids spécifique élevé (voir plus loin) des carbonates de la roche ; en effet, le minéral de Bastnäs est associé à des carbonates lourds, difficilement attaquables ⁽⁴⁾).

2^o *La Joaquinite* (silico-titanate de bore de Californie, uniaxe rose).

3^o Une *vésuvianite* manganésifère rose, type Gleinitz ou dans mühl.

4^o Une *zoïsité* manganésifère, ou une thulite.

5^o On a dû aussi envisager la possibilité d'un grenat optiquement aberrant.

Il a donc fallu procéder à une séparation minutieuse, pour fractionner des matériaux purs en vue des examens spectroscopiques, chimiques et roentgenographiques.

Un fragment de la roche a été finement broyé, et tamisé au tamis de 100.

Le broyat a été soumis à une série de séparations par solvants denses : trois fractions ont été ainsi constituées.

1^o Fraction plus légère que le bromoforme (rectifié à 2.941), constituée uniquement par des carbonates : la majeure

Mesuré sur la platine de Fédoroff, en lumière monochromatique.

Mesuré en lum. monochromatique.

Les observations en lumière convergente ont nécessité la taille de plaques épaisses, et le travail sur grains montés.

les chiffres donnés représentent la moy. des val. calculées pour la lumière blanche.

Cette hypothèse a été abandonnée à la suite d'un examen spectrochimique d'absorption à l'aide du microspectroscope de Zeiss : aucune bande ou d'absorption de Ce-La-Dy n'a été observée, ni dans le minéral rose, ni dans les carbonates, malgré l'épaisseur de la lame taillée *ad hoc*.

partie de cette fraction a été dissoute par HCl 1/2 N à froid, donc il s'agit de calcite.

Le résidu non attaqué a été spectographié dans l'arc.

Il a fourni un spectre simple de *Ca* et *Mg*, comme constituants essentiels, ainsi que des traces notables de *Fe*, + 2 raies ultimes de *Sr*. — Vraisemblablement de la dolomie.

b) Fraction tombant dans le bromoforme, et plus légère que le iodure de méthylène. — (Densité comprise entre 2,9 et 3,3.)

Cette fraction (volumétriquement pauvre) est composée de quelques grains de pyroxène vert ainsi que de rares grains de carbonate (attaquable par HCl 75 % à chaud). Ce dernier, volatilisé dans l'arc dans des conditions analogues au premier, a fourni un spectre de $Ca > Mg$. *Fe*, traces fortes de *Mn*.

C'est très probablement une ankérite.

c) C'est la fraction plus lourde que l'iodure de méthylène. Les séparations plus poussées s'étant avérées peu sûres (l'ensemble de la fraction est plus léger que le terme minimum de la liqueur de Clérici), les éléments ont dû être triés à la main, sous la loupe binoculaire.

Quatre parts ont été ainsi constituées :

C 1) quelques grains cireux de zoïsite;

C 2) une quantité appréciable de grains carbonatés, brunâtres;

C 3) quelques grains isotropes, noir rouge, de grenat andradite;

C 4) le minéral rose.

Le spectre de C 2 comportait :

du *Fe*, *Mg*, très peu de *Ca*, *Mn*, ainsi que des traces minimes de *Ag* (3 raies),

In (1 raie nette).

L'ensemble joint à l'attaque très difficile par HCl fumant, à chaud (4 minutes pour 1/2 gr.) semble se rapporter à un carbonate du type Breunerite ou Sidérose, peut être à un mélange de ces deux minéraux.

Enfin, la fraction C 4 a été broyée de nouveau, tamisée au 150 et retriée sous le microscope, à l'aide du micromanipula-

eur de Fonbrune, afin d'éliminer les inclusions carbonatées microscopiques susceptibles de s'y trouver et de fausser l'analyse.

Ainsi, le maximum de garanties quant à la pureté du minéral rose constituant cette fraction C 4 a été réuni.

Trois spectres d'arc ont été faits de cette substance :

Un, sur 100 mg (Arc 110 V, 4-5 amps) 120 secondes.

Il a fourni par ordre décroissant des teneurs :

Éléments essentiels Si ●●●●●●

Ca ●●●●●●

Teneurs moyennes Al ●●●●

Fe ●●●

Mg ●●●

Ti ●●

Teneurs faibles Na ●

K ●

P ●

B. abs. Traces Gl, Mn. Zn douteux.

Ensuite deux spectres rapides ont été faits (40 secondes exposition) :

1^o sur quelques lamelles sélectionnées, appartenant à la zone marginale jaune ;

2^o sur quelques lamelles sélectionnées, appartenant à la zone centrale rose.

Ces lamelles ont été découpées sous microscope à même les plaques minces.

Qualitativement et grosso modo quantitativement, leur composition chimique semble analogue.

Mais sur le spectre de la partie jaune, les raies :

3339,4 ; 3741,0'

3361,2 ; 3989,9''

; 3998,8'''

3371,62 ;

3635,6 ;

3642,8 ;

titane ont apparu nettement, tandis que le Mn est absent.

Pendant que, sur le spectre du centre rose, le Mn est nettement exprimé par ses raies :

2576,2 ; 2784,9'	4030,9''' } 4033,2''' }
2593,7 ; 2798,3'	
2605,7 ; 2801,2'	

tandis que le titane est à peine apparent par ses U_1-U_2 3349,4 et 3372,8.

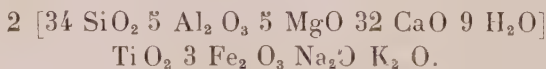
Il semble bien que nous ayons affaire là à des teneurs variées de Ti et de Mn à l'intérieur d'un même cristal. — C'est peut-être à cette diversité de concentration que seraient dues les zonalités isochromatiques observées au microscope.

Ensuite le minéral rose a été analysé.

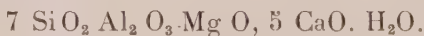
(Analyse Patureau, C.N.R.S.)

SiO ₂	40,50	SiO ₂	0,675
Al ₂ O ₃	11,50	Al ₂ O ₃	0,113
Fe ₂ O ₃	5,00	Fe ₂ O ₃	0,031
FeO.....		FeO.....	
(¹)MnO.....	0,05	MnO.....	—
MgO.....	4,30	MgO.....	0,109
CaO.....	31,00	CaO.....	0,550
Na ₂ O.....	0,80	Na ₂ O.....	0,013
K ₂ O.....	0,40	K ₂ O.....	0,004
TiO ₂	3,60	TiO ₂	0,045
P ₂ O ₅	0,10	P ₂ O ₅	—
H ₂ O±.....	3,20	H ₂ O±.....	0,177
	<u>100,45</u>		

Formule Développée :



Formule Restreinte :



(1) Vérification en double et triple essai de CaO — TiO₂ — MnO.

Sur la même sélection C 4, plusieurs diagrammes de poudres ont été faits grâce à l'obligeance de M. le professeur Wyart. Le minéral diffracte mal, néanmoins un cliché convenable pu être obtenu.

Huit raies seulement ont pu être mesurées (voir tableau I). Avec ces éléments en mains, beaucoup des hypothèses du début sont infirmées : nous sommes en présence d'un aluminosilicate de calcium titané, légèrement ferro-magnésien.

(C'est donc dans cette famille que les identifications possibles ont été cherchées.

Trois éléments de comparaison ont été utilisés :

- a) composition chimique,
- b) caractères optiques,
- c) diagrammes Debye Scherrer.

*
* *

CAS DU GRENAT.

Dans la famille des grenats, quelques grossulaires pauvres en fer seraient susceptibles de réunir grosso modo les conditions qualitatives requises par la formule de notre minéral, si ce n'est que les teneurs en alumine ne descendent guère au-dessous de 15 %.

Quant aux caractères optiques, les seuls grenats ayant des biréfringences optiques (excepté les ouwarowites) sont des grenats aluminosilico-ferro-calciques : type Pyrénéite d'Arbizon :

Fe_2 : 38 %, Al_2O_3 : 18 %, CaO : 37 %.

$3 \text{ Si O}_2 \text{ Al}_2 \text{ O}_3 \text{ 3 CaO.}$

$\text{Al} : \text{Si} = \frac{2}{3} \text{ contre } \frac{2}{7} \text{ dans notre minéral.}$

Ceci, joint à l'absence de toute corrélation entre les diagrammes de poudres, nous permet d'écarter la possibilité du Grenat.

CAS DE LA ZOÏSITE.

La seconde famille à laquelle notre minéral pouvait appartenir est celle des mangano-zoïsites et des thulites.

Les premières analogies qui sautent aux yeux sont la coloration, le polychroïsme, la dispersion intense, la biréfringence très basse.

Mais d'autre part :

1) Il n'a été signalé jusqu'à présent aucun cas d'anomalie optique affectant le caractère de biaxie des épidotes en général et des zoïsites en particulier.

2) La teneur en manganèse du minéral rose est tout à fait insuffisante pour expliquer sa coloration, et pour permettre de considérer ce minéral comme une thulite. — De plus, dans les mangano-zoïsites, les teneurs en Al_2O_3 oscillent entre 25-30 % ; les rapports $\frac{\text{Al}}{\text{Si}}$ se maintenant dans les environs de $\frac{2}{3}$, tandis que pour notre minéral ce rapport est $\frac{2}{7}$.

3) Enfin la comparaison des diagrammes de rayons X : a) d'une épidote, b) d'une mangano-zoïsité rose de Volonandronga (Madagascar) et du minéral rose ont montré que ce dernier est structuralement sans aucune parenté avec le groupe des zoïsites (Bibl., I, 1, 3).

*
* *

CAS DE L'IDOCRASE.

Le dernier cas à envisager est celui des idocrases.

En tout premier lieu, les diagrammes de poudres.

Une juxtaposition de clichés d'idocrase commune et de notre minéral indique déjà une parenté bien accusée.

La proximité des structures est encore plus apparente si l'on compare le diagramme du minéral rose au spectre d'une wiluite (voir tableau des mesures).

TABLEAU I : Dépouillement des spectres de rayons X.

$(\lambda = K_{\alpha} \text{ Cu}).$

Minéral rose

Wiluite

2 l.	θ	d	INTENS.	2 l.	θ	d	INTENS.
34,1	12°45'	3.48	moyenne	30,4	11°15'	3.94	tr. faible
38,6	14°28'	3.07	faible +	34,5	12°56'	3.43	—
42,2	15°49'	2.82	moyenne —	40,2	15° 4'	2.95	faible ++
			forte	42,0	15°45'	2.833	—
44,1	16°32'	2.700	—	43,4	16°16'	2.744	forte
< 47,0	17°37'	2.539	—	× 46,8	17°33'	2.550	faible
< 55,3	20°44'	2.171	—	49,6	18°36'	2.411	forte
72	27°	1.694	faible	52,5	19°41'	2.282	tr. faible
73	27°22'	1.672		× 55,3	20°44'	2.171	tr. faible
				57,6	21°36'	2.089	tr. faible
				73,2	27°27'	1.672	moyen
				75,4	28°16'	1.629*	
				79	29°37'	1.555	Très faible
				82	30°45'	1.504	
				90,6	33°58'	1.375	
				93			
				93,2	34°57'	1.342	
				96	36°	1.306	
				103	38°37'	1.231	

Cette parenté des diagrammes serait un élément décisif. —
Il faut néanmoins envisager les limites dans lesquelles les
tres caractères peuvent cadrer.

En principe, les idocrases appartiennent toutes au système
quadratique ; elles sont donc uniaxes, et de tout temps leur
gne optique a été reconnu négatif.

Pourtant Mallard déjà a signalé des anomalies optiques
servées en lumière convergente sur des idocrases dont il ne
ne pas l'origine (Bibl., IV, 15).

En 1890, Prendel publie la première étude complète d'un
s d'anomalie, généralisé dans les idocrases de la vallée du
ilui, en Sibérie.

Il s'agit de cristaux quadratiques, allongés et tétartoé-
ques, qui, pour les sections perpendiculaires à l'axe, mon-
nient deux zones : une zone centrale uniaxe, négative, et

une zone bordière marginale, biaxe et positive ($2 V$ 30-40°) affectée d'une forte dispersion (Bibl., IV, 17).

Divers auteurs ont observé des anomalies affectant les bords extérieurs, et des modifications dans l'envergure de l'angle $2 V$, et de signe optique, obtenues artificiellement, dans les deux sens, par chauffage ou par pression (Bibl., IV, 2, 12, 13).

Les cristaux observés se sont toujours montrés biaxes et négatifs ($2 V$ petit). — Jusqu'à présent, les raisons de ces anomalies biaxes ne sont données qu'à l'état d'hypothèse. On pense à une perturbation au cours de la croissance du cristal, ou bien à une pseudomorphose due à des différences quantitatives dans les compositions chimiques entre les diverses zones d'un cristal. Nous inclinons plutôt vers cette dernière hypothèse à la suite des résultats obtenus par les spectrogrammes à courte exposition.

Ces aberrations optiques ayant été observées et codifiées à propos du minéral de Wilui, la tendance s'est généralisée à appeler Wiluite les idocrases affectées d'une anomalie biaxe. Le minéral de Wilui est le seul biaxe + ⁽¹⁾ de la famille des idocrases aberrantes à l'état naturel.

(²) Notre minéral rose réunit les caractères essentiels de ces anomalies : zonalité, centre uniaxe, bords biaxes, positifs et dispersifs ; malgré l'angle $2 V$ exagérément grand (max. 45° dans les Wiluites) il nous semble que son comportement optique est celui d'une Wiluite.

Restent la composition chimique et la coloration.

Deux groupes ont été constitués dans les idocrases :

1) le groupe fluo-boré (cas de pneumatolyse venue se greffer sur le contact intrusif) ;

2) groupe sans fluor ni bore, constituant selon de Gramont la minorité (Bibl., II, 5-6).

De ce point de vue, notre idocrase se range dans cette dernière catégorie.

(1) Sa biréfringence est anormalement haute pour une idocrase, la moyenne mesurée par Ilawatsch étant 0,003 (Bibl. IV. 7).

(2) Il faut noter que Larsen signale une idocrase biaxe négative, à l'angle $2 V$ compris entre 30-60°. — Il n'a pas été possible de retrouver la source dans la littérature.

Par ailleurs, ses teneurs relatives en Si, Ca, Al, forment les rapports à la limite des possibilités offertes par la gamme des analyses d'idocrase.

Si O₂ moyen 38 % { Al₂ O₃ moyen 15 % CaO moyen 35 %, (10 % pour les Mn idocrases).

Si la Wiluite se rapproche de notre minéral par ses teneurs en alumine relativement basses 11-13 % (Bibl., I, 1), elle s'en écarte par contre par ses teneurs en B₂O₃ (2,54-2,81 %).

Il reste enfin la question de la coloration.

Si les cas d'idocrases macroscopiquement rouge brun sont relativement fréquents, le polychroïsme est rare, et la coloration rose au microscope n'a été signalée qu'une fois, dans les péngano-vésuvianites de Gleinitz et de Jordansmühl en Silésie (Bibl., IV, 14). — Mais ces idocrases accusent des teneurs remarquables en MnO, de l'ordre de 3 %, ce qui n'est pas le cas dans le minéral de l'Oued El Achek.

D'ailleurs ces idocrases manganésifères sont optiquement anormales.

<i>Oued El Achek :</i> <i>rose.</i>	<i>Wilui :</i> <i>verdâtre.</i>	<i>Gleinitz (1) :</i> <i>rouge pêche.</i>
	F..... 0.22	
Si O ₂ 40.50	Si O ₂ 36.17	Si O ₂ 35.57
Al ₂ O ₃ .. 11.50	Al ₂ O ₃ ... 12.23	Al ₂ O ₃ ... 16.30
Fe O ₃ ... { 5.00	Fe ₂ O ₃ ... { 3.67	Fe ₂ O ₃ ... { 4.58
Fe O.... {	Fe O.... {	Fe O.... {
Mn O... 0.05	Mn O... 0.15	Mn O... 3.41
Mg O... 4.30	Mg O... 6.05	Mg O... 1.75
Ca O.... 31.00	Ca O.... 35.81	Ca O.... 33.75
Na ₂ O... 0.80	Na ₂ O...) 0.45	Na ₂ O... } —
K ₂ O.... 0.40	K ₂ O....)	K ₂ O.... }
Ti O ₂ 3.60	Ti O ₂ ... 0.30	Ti O ₂ 1.05
P ₂ O ₅ 0.10	P ₂ O ₅ ... —	P ₂ O ₅ —
H ₂ O±.. 3.20	H ₂ O±.. 1.72	H ₂ O±.. 3.01
	B ₂ O ₃ ... 2.81	
Total.... 100.45	Total... 99.58	Total... 99.42
Anal. Patureau	Anal. Rammelsberg in Prendel (Bibl., IV, 17.)	Anal. Websky in von Lassaulx (Bibl., IV, 14.)

Il a été impossible de retrouver un échantillon de cette vésuvianite tant en France que dans les collections de Bonn et Göttingen.

Enfin, quelques très rares idocrases, du groupe sans fluor ni bore, ont montré des teneurs en titane compris entre 2 et 4,28 % sans que le titane semble causer quelque anomalie que ce soit (Bibl., IV, 18).

En résumé, nous sommes en présence d'une variété d'idocrase, dépourvue de bore et fluor, réunissant :

a) la couleur des mangano-vésuvianites de Gleinitz, tout en étant dépourvue de manganèse ;

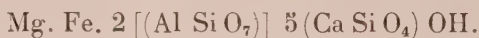
b) les anomalies optiques de la Wiluite, et une structure très proche de cette dernière ;

c) 1) des teneurs élevées en Si O_2 (40 %),

2) des teneurs remarquables en Ti O_2 (3,60 %),

3) des teneurs relativement faibles d' $\text{Al}_2 \text{O}_3$ et CaO .

Cet ensemble de caractères constitue une nouvelle variété d'idocrase optiquement anormale, bien distincte des types étudiés jusqu'à présent. Sa formule peut donc être exprimée comme l'indique Winchell, soit :



(Bibl., IV, 20.)

Nous voudrions remercier ceux qui nous ont aidé durant les travaux nécessités par cette étude, et en particulier M^{me} E. W. Jérémine et MM. les professeurs Orcel, Raguin et Wyart.

Les travaux de séparation, optique, chimie, spectrochimie ont été poursuivis au Lab. de Minéralogie du Muséum.

Les diagrammes de rayons X ont été faits au Lab. de Minéralogie de la Sorbonne.

Paris, 1^{er} février 1950.

BIBLIOGRAPHIE

I. OUVRAGES D'ENSEMBLE.

- DELTER, C. — *Handbuch der Mineralchemie*, vol. II-2, Calciumaluminumsilicate.
- MACROIX, A. — *Minéralogie de la France*, vol. I.
- *Minéralogie de Madagascar*, vol. I, p. 44.
- MARSEU, E. — *The microscopic determination of non opaque minerals*, p. 192. Washington, 1934.
- MACGLI, P. — *Lehrbuch des Mineralogie*, Berlin, Borntraeger, 1920.
- SENBUCH. — *Mikroskopische Physiographie Spezialler*, Teil (Mügge, 1924), p. 132.
- FINCHELL. — *Elements of optical Mineralogy*, part. II, p. 207. John Willey, New-York, 1935.

II. SPECTROCHIMIE APPLIQUÉE AUX MINÉRAUX.

- Bedr., Chan. S., *Zeitschrift für anorg. und allgemeine Chemie*, vol. 144, p. 304, 1925.
- MACQUEREL, H. — *CR. Ac. Sc.*, vol. 108, p. 282, et *Annales de Chimie et de Physique*, série 6, vol. 14, p. 170, 1888.
- BRUN, A. — *Archives des Sciences Physiques et Naturelles*, vol. 43, p. 487, 1917.
- HARTLEY and RAMAGE. — *Journal of the Chemical Soc. Transactions*, vol. 71, p. 547, 1901.
- MACROIX et DE GRAMONT. — *CR. Acad. Sc.*, vol. 168, p. 857, 1919.
- *B. S. F. M.*, vol. 44, p. 67, 1927.
- WHERY. — *American Mineralogist*, vol. 14, p. 299 et 343, 1929.

III. ZOÏSITE-THULITE.

- FARRINGTON, D. D. — *Z. K.*, ref., vol. 44, p. 539, 1908.
- CASSER, G. — *Mineralien Tirols*, p. 543, Innsbrück, 1913.
- GIMELIN. — *Pogg. Amer.*, vol. 49, p. 539.
- HIDDEN, W. E. — *Amer. Journal*, vol. 46, p. 153, 1893.
- KONIG, G. A. — *Z. K.*, vol. 2, p. 303, 1878.
- BERLIN. — *Pogg. Ann.*, vol. 78, p. 414.
- SLAVIK, F. — *Z. B. Min.*, p. 687, 1901.

IV. IDOCRASE-VÉSUVIANITE.

- MBŘEZINA, A. — *T. M. P. M.*, 1876, p. 133.
- BRAUNS. — *Die optische anomalien der Kristalle*, p. 281, Leipzig Hirzel Vlg., 1891.

3. BECKE, F. — *T. M. P. M.*, vol. 4, p. 344, 1882.
4. DES CLOIZEAUX. — *Manuel de Cristallographie*, p. 280, Paris, 1862.
5. ECKERMAN, (H. VON). — *G. F. F.*, vol. 44, p. 373, 1922.
6. GOLDSCHMIDT, V. M. Videnskabselk. Skr. I, p. 326, Oslo, 1911.
7. HLAWATSCH, C. — *T. M. P. M.*, vol. 21, p. 107, 1902.
8. HIRSCHWALD, J. — *T. M. P. M.*, p. 239, 1875.
9. IGELSTRÖM. — *Bul. Geol. Just.*, Upasla, vol. 9, p. 22, 1911.
10. JANNASCH, P. — *N. J. B.*, vol. 1, p. 269, 1884.
11. JANNASCH. — WEINGARTEN.
12. KLEIN, C. — *N. J. B. Min.*, II, 1892, p. 204.
13. KLOCKE, F. — *N. J. B. Min.*, I, 1881, p. 204; II, 1881, p. 255.
14. LASSAULX, (A. VON). — *Z. K.*, 1890, p. 170.
15. MALLARD, E. — *Anomalies optiques*, Paris, 1876, p. 133.
16. PALLACHE, C., BAUER. — *An. Min.*, vol. 15, p. 30, 1930.
17. PRENDEL. — *Z. K.*, vol. 17, p. 95, 1890.
18. QUENSËL P. — *Z. B., Min.*, 1915, p. 201.
19. RAMMELSBERG, C. F. — *Z. Dtsche Geol. Ges.*, vol. 38, p. 514, 1886.
20. WARREN-MODELL. — *Z. K.*, vol. 78, p. 422, 1932.
21. WEIBULL. — *Z. K.*, vol. 35, p. 26, 1896.
22. ZEPHAROVICH V. — *S. W. A. (Wien Akad.) Math. Nat.*, Kl. XLIX, p. 51 et in Hlawatsch.

ABRÉVIATIONS.

- Z. K.* = Zeitschrift für Kristallographie.
Z. B. = Zentrallblatt für Mineralogie.
T. M. P. M. = Tschermak Mitteilungen Miner. und Petrogr., etc.
N. J. B. = Neues Jahrbuch für Mineralogie, etc.
G. F. F. = Geologiska Förenigen förhandlingar, Stockholm.
-

LA RÉFRACTION DES RAYONS X AUX GRANDS ANGLES DE DIFFRACTION

PAR H. HENDUS,

Institut de Recherches Métallurgiques de Sarrebruck.

Sommaire. — Influence de la variation de longueur d'onde d'un faisceau de rayons X pénétrant dans un cristal sur la valeur de l'angle de Bragg. Pour les grands angles de diffraction, cette correction de longueur d'onde est du même ordre de grandeur que celle due à la réfraction pour les petits angles de diffraction.

Dans toutes les mesures précises de longueurs d'onde de rayons X qui comportent l'emploi des constantes du cristal de chlorure de sodium, normalisées par Siegbahn ($\lambda = 2,81400 \text{ kXU}$ à 18° C), il s'avère indispensable de tenir compte de la variation de longueur d'onde et de la réfraction correspondante que subit le faisceau de rayons X en passant de l'air dans le cristal.

Lorsqu'il y a réfraction symétrique — elle est prépondérante quand le plan réfléchissant est parallèle à la surface du cristal —, l'angle de diffraction peut être tiré d'une variante de l'équation de Bragg, établie par P. Ewald (1). La détermination précise des distances des plans parallèles à la surface du cristal par l'introduction d'une longueur d'onde connue ne se fait également qu'on tienne compte de l'influence de la réfraction et de la variation de la longueur d'onde. Ainsi, les mesures effectuées sur le même plan réticulaire à l'aide de longueurs d'onde différentes ne peuvent conduire à une même valeur de la maille que si l'on introduit la correction relative à la réfraction.

On admet d'une façon générale que le déplacement des raies d'interférence sous l'influence de la réfraction n'est sensible qu'aux petits angles de diffraction. Un examen plus appro-

fondi montre cependant qu'aux grands angles, la variation de longueur d'onde à elle seule suffit à provoquer des déplacements tout aussi importants, et ceci par suite de la grande valeur qu'atteint le pouvoir de la résolution.

Si α et β sont les angles que font les rayons incidents et réfléchis avec la surface du cristal, on a la relation classique :

$$\frac{\cos \alpha}{\cos \beta} = \frac{\lambda_a}{\lambda_c} = v = 1 - \delta$$

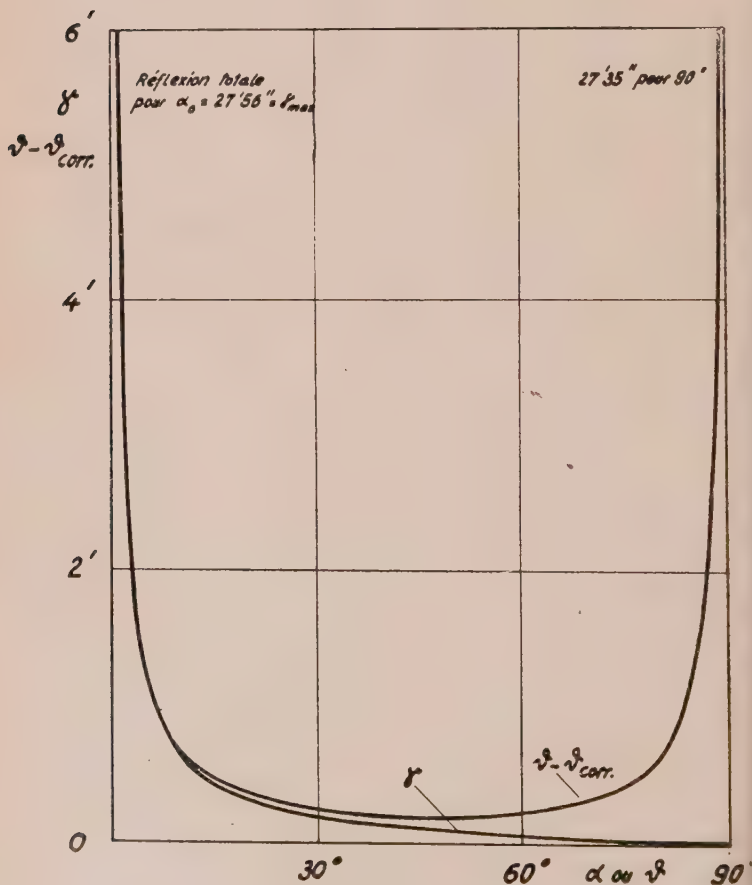


FIG. 1 — Angle de réfraction γ et correction $\theta - \theta_{corr}$ apportée à l'angle de diffraction pour $\delta = 33.10^{-6}$.

et λ_c étant les longueurs d'onde dans l'air et dans le cristal
 et n l'indice de réfraction du cristal inférieur à 1.

En excluant les domaines de dispersion anormale (2) et
 en formulant l'approximation que le nombre atomique est
 égal à la moitié du poids atomique, on obtient $\delta =$
 $25 \cdot \rho \cdot \lambda_a^2 \cdot 10^{-6}$, ρ exprimant la densité du cristal. L'angle de
 réfraction maximum qui correspond au commencement de la
 flexion totale est donné par : $\alpha_0 = \sqrt{2\delta}$.

La figure 1 montre comment varie l'angle de réfraction
 $\alpha - \beta$, en fonction de l'angle α pour $\delta = 33 \cdot 10^{-6}$ (cas par
 exemple du fer avec la radiation $K\alpha$ du cobalt, ou de l'argent
 et la radiation $K\alpha$ du cuivre). Partant d'une valeur limite
 $\alpha = \gamma_{\max} = 27'56''$, l'angle de réfraction tombe très rapide-
 ment pour se rapprocher ensuite progressivement de 0 au
 voisinage de l'incidence normale.

Lorsque les plans parallèles à la surface sont juste en posi-
 tion de réflexion, il y a réfraction symétrique (fig. 2).

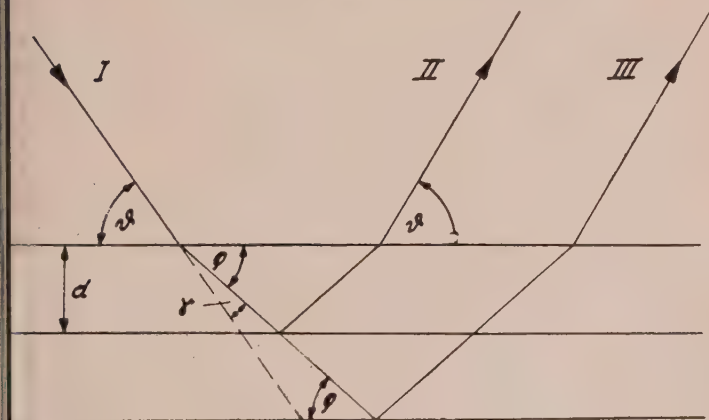


FIG. 2. — Réfraction symétrique.

L'angle de diffraction réel φ à l'intérieur du cristal diffère
 de l'angle mesuré extérieur d'une part, de l'angle de réfraction
 $\left(\frac{\theta}{\varphi} \cdot \nu \right)$ et en outre d'une quantité correspondant à la varia-
 tion de longueur d'onde $\left(\frac{\lambda_a}{\lambda_c} = \nu \right)$.

Dans ces conditions, on a la relation de Bragg corrigée sous sa forme la plus simple, telle que l'a indiquée Regler (3).

$$n \cdot \lambda = 2 d \cdot \sqrt{v^2 - \cos^2 \theta} = 2 d \sin \theta_{\text{corr.}}$$

L'introduction de quelques approximations conduit à la relation établie par Ewald, dont la validité d'ailleurs cesse quand θ devient inférieur à 5° , et qui est la suivante :

$$n \cdot \lambda = 2 d \sin \theta \left(1 - \frac{\delta}{\sin^2 \theta} \right).$$

Pour faire apparaître nettement la variation de l'angle de diffraction sous l'influence conjuguée de la réfraction et de la variation de la longueur d'onde, nous avons dans la figure 1, où $\delta = 33.10^{-6}$, porté en ordonnées la différence $\theta - \theta_{\text{corr.}}$. Le rôle joué par la variation de la longueur d'onde prend d'autant plus d'ampleur que l'angle de diffraction et le pouvoir de résolution sont plus importants, d'où il résulte qu'aux grands angles, où il ne se produit pratiquement plus aucune réfraction, le déplacement des raies est presque aussi accusé que celui donné par la réfraction aux petits angles. Il importe donc d'en tenir compte lorsque l'on opère sous des angles de diffraction extrêmement ouverts.

Dans les prises effectuées sur des substances finement cristallisées, on ne réalise que très rarement le cas où la réfraction est symétrique pour n'importe quel plan réticulaire, car la plupart du temps, les cristaux présentent de simples facettes rationnelles. La probabilité avec laquelle on aura un angle déterminé entre le rayon incident et la surface des grains en position de réflexion devient une fonction de la forme extérieure et de l'orientation cristallographique de ces grains.

Quand le faisceau primaire rencontre un grand nombre de grains, la réfraction dissymétrique peut se produire d'une infinité de manières. C'est ainsi que F. Regler (4) tente d'expliquer la dispersion des points d'interférence fournis par les substances à gros grains, et les raies nettement délimitées que donnent par contre les poudres finement cristallisées. On note cependant pour la détermination des constantes réticu-

ires à l'aide des raies ultimes que c'est surtout la variation de la longueur d'onde qui agit sur l'angle de diffraction. La diffraction dissymétrique qui vient s'y ajouter n'exerce qu'une influence très secondaire et, par suite, la correction dans les cas de la réfraction symétrique que l'on apporte à l'angle de diffraction mesuré, en utilisant l'équation de Bragg corrigée, est très peu différente de celle réellement requise.

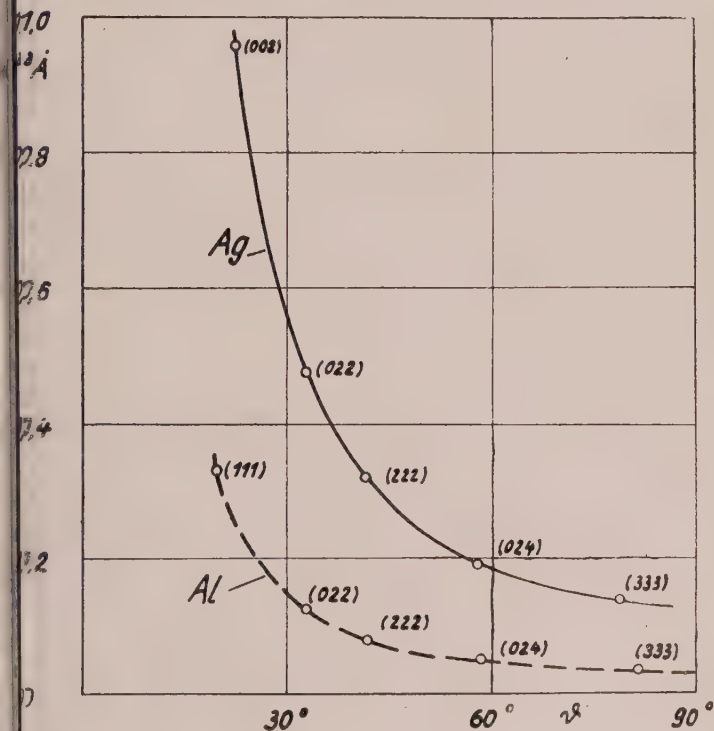


Fig. 3. — Correction relative à la réfraction symétrique à apporter aux constantes réticulaires de l'aluminium et de l'argent dans le cas de l'emploi de la radiation Cu ($\delta = 8,6$ et $33 \cdot 10^{-6}$).

Les considérations ont déjà été mises à profit par Strau-
mais (5) dans des mesures précises de constantes réticulaires
effectuées sur des poudres. La figure 3 montre dans le cas de
l'aluminium et de l'argent, pour des prises faites avec la ra-

diation Cu K_α , la correction à apporter aux constantes réticulaires, telle qu'elle résulte de celle de l'angle de diffraction relative à la réfraction symétrique.

Cette correction atteint 1 à 2. 10^{-4} Å pour les corps de forte densité et dans le domaine des grands angles de diffraction. L'écart que présente la courbe de correction d'angle (fig. 1) avec celle de correction de la maille (fig. 3) s'expliquent du fait de la variation du pouvoir de résolution en fonction de l'angle.

En conclusion, même dans le domaine des très grands angles, dont on a signalé récemment l'intérêt (6), il importe de toujours tenir compte de l'influence de la réfraction qui, par l'effet des variations de longueurs d'onde provoque un déplacement des raies d'interférence d'autant plus marqué que l'angle est plus important.

RÉFÉRENCES

1. P. EWALD. — Handbuch der Experimental Physik XXIV/2, 94 (1930), p. 116.
 2. En ce qui concerne les valeurs de δ dans le domaine de la dispersion anormale, voir l'ouvrage de M. Siegbahn, *Spektroskopie der Röntgenstrahlen*, 2^e édition, Berlin, Julius Springer, 1931, p. 36.
 3. F. REGLER. — *Grundzüge der Röntgenphysik*, Verlag Urban u. Schwarzenberg, Berlin u. Wien, 1936.
 4. — *Metallwirtschaft* 21 (1942), p. 249 et 273.
 5. M. STRAUMANIS et A. JEVINS. — *Präzisionsbestimmung von Gitterkonstanten nach der asymmetrischen Methode*, Editions J. Springer, Berlin, 1940, p. 50.
 6. H. HENDUS u. H. NOWOTNY. — *Z. Naturwissenschaften* 2 (1948), p. 61.
- C. CRUSSARD et F. AUBERTIN. — Communication à la Société Française de Métallurgie, octobre 1948.
-

NOUVEL ESSAI D'IDENTIFICATION DU MINÉRAL DE LA TABLE PRÈS ALLEVAR, D L'ALLEVARDITE

PAR M^{lles} S. CAILLÈRE,
A. MATHIEU-SICAUD ET M. S. HÉNIN,
Laboratoire de Minéralogie du Muséum, à Paris.

Sommaire.— Le minéral trouvé par Legh Powell doit être considéré comme une espèce nouvelle pour laquelle nous proposons le nom d'allevardite. C'est un minéral phylliteux, voisin de la montmorillonite dans lequel les feuillets mica, généralement groupés par deux, sont séparés par une couche de molécules d'eau.

Le minéral découvert à la Table, près Allevard, par Legh Powell a fait l'objet de nombreuses études ayant abouti à des résultats divergents.

Nous les rappellerons brièvement, ainsi que les conclusions auxquelles elles ont donné lieu, car les difficultés d'interprétation viennent, ainsi que nous le verrons plus loin, de la structure assez particulière de ce minéral.

L'importance attachée par les différents auteurs à tel ou tel caractère a été responsable des divers jugements portés à son sujet.

En se basant sur les données de l'analyse thermique, Caillère a été amenée à le considérer comme une kaolinite ; mais fait il existe une ressemblance marquée entre la courbe de ce minéral et celles de certaines kaolinites altérées (1).

D'après la composition chimique, E. Lemoine (2) a conclu qu'on pouvait rattacher ce minéral au groupe des muscovites. Ce caractère n'est cependant pas décisif, car les résultats de l'analyse chimique ne diffèrent pas notablement de ceux de la kaolinite ainsi que le montre le tableau suivant :

Analyse chimique du minéral.

	I	II	III
Si O ²	45,20	45,20	46,5
Al ² O ³	38,50	30,05	39,5
Fe ² O ³		1,07	
Fe O.....		0,20	
Ca O.....		4,62	
Mg O.....		0,34	
K ² O.....	11,80	0,33	
Na ² O.....		2,83	
H ² O —.....	4,50	9,72	14,—
+.....		6,04	
	100,—	100,40	100,—

I. — Muscovite. Composition théorique d'après A. Lacroix. (*Min. de la France et de ses colonies*, t. I. p. 340.)

II. — Allevardite, d'après S. Caillère (1).

III. — Kaolinite. Composition théorique.

Cependant la nature fibreuse du minéral, signalée par S. Caillère, puis reconsidérée par M. Déribéré (3) semblait s'opposer à cette conclusion. Le caractère fibreux a été vérifié à nouveau par la méthode spectrographique (4).

Étant donné ces divergences, l'étude de l'échantillon a été reprise (4). L'analyse thermique fut appliquée cette fois en tenant compte de recherches effectuées peu de temps auparavant. Pour cela, le diagramme du minéral initial a été comparé à celui du produit traité au carbonate d'ammonium (5). Cet essai fit apparaître une certaine variabilité de la courbe thermique que l'étude antérieure avait montrée incompatible avec le comportement de la kaolinite. Par contre ce résultat s'apparentait, à quelques différences près, à ceux qu'avaient donnés les palygorskites. Ce fait joint à la texture fibreuse conduisait alors à le rapprocher de cette espèce.

Le diagramme de rayons X montrait de toute évidence que l'on n'avait pas affaire à un minéral kaolinique, et sans apporter une confirmation parfaite, permettait d'adopter la simili-

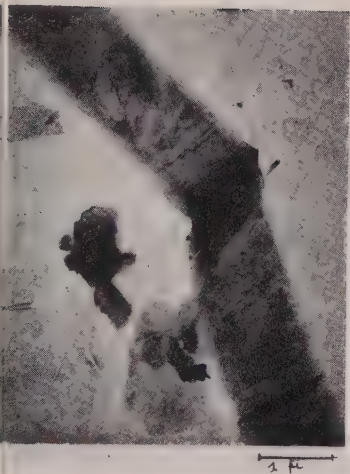


FIG. 1 a.



FIG. 1 b.

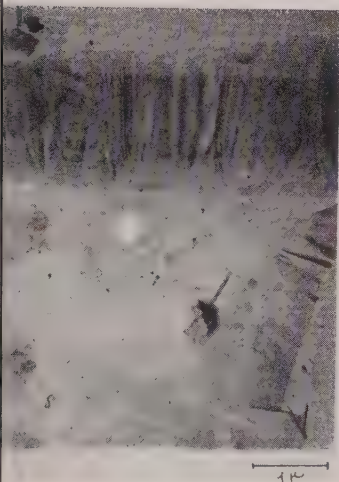


FIG. 1 c.

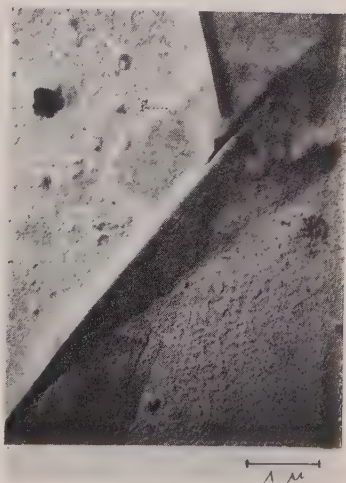


FIG. 1 d.

EXAMEN DE L'ALLEVARDITE AU MICROSCOPE ÉLECTRONIQUE.

- g. 1. — Long ruban replié.
- g. 2. — Noter en haut l'enroulement du ruban faisant un tour sur lui-même.
- g. 3. — Le ruban horizontal présente une série de franges transversales correspondant à un gaufrage, les stries fines étant dues à des réflexions d'électrons sur des plans courbes.
Les stries longitudinales sont provoquées par une série de feuillets décalés.
- g. 4. — Feuillet du minéral retourné et ombré au chrome, examiné sous une incidence de 20°.

La frange lumineuse très étroite (F) révèle la faible épaisseur de la membrane (50 à 100 Å).



FIG. 2 a. — Diagramme de plaquette d'allevardite.

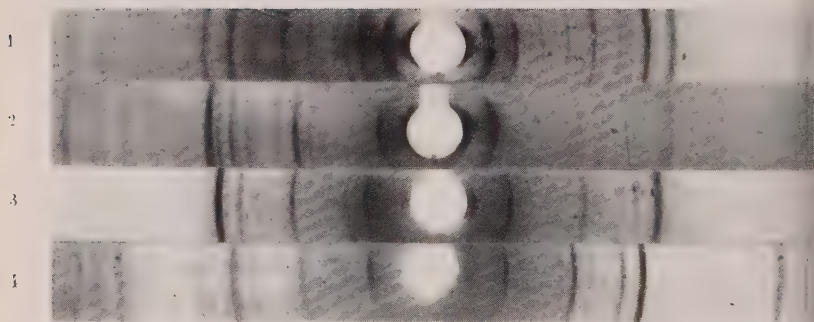


FIG. 2 b. — Diagrammes de Debye.

1, plaquette du minéral imprégnée de glycérol ; 2, d'allevardite, état initial ;
3, d'allevardite chauffé à 550° ; 4, muscovite.

tude avec la palygorskite, les différences entre les diagrammes paraissant pouvoir être imputées à la composition chimique assez particulière de ce minéral.

Signalons que l'installation de rayons X, ne permettait pas d'observer les raies supérieures à $9,5 \text{ \AA}$, et que d'autre part, nous utilisons un collimateur d'assez gros diamètre, donnant des raies larges.

Employant maintenant un collimateur plus fin, et ayant la possibilité de mettre en évidence des équidistances dépassant 6 \AA , nous avons voulu vérifier l'identification précédente.

Les premiers diagrammes de rayons X nous ont immédiatement montré que notre conclusion antérieure était erronée. En effet, ils présentent une raie très intense située à $22,5 \text{ \AA}$, une seconde également très intense vers 11 \AA , paraissant un second ordre de la première. Ces diagrammes possèdent aussi de très nombreuses raies faibles entre les deux équidistances 22 et 11 \AA . Cependant ils confirment une conclusion antérieure en ce sens qu'ils s'apparentent par certains caractères à un diagramme de fibres (fig. 1).

Cette équidistance (pl. II, fig. 2 *b*, diag. 2) de 22 \AA singulièrement élevée conduit à penser qu'il s'agit d'un minéral type montmorillonite, ce qui est d'ailleurs en accord avec son comportement en suspension.

Pour vérifier ce diagnostic, nous avons pris des diagrammes de ce minéral, soit dans le glycérol, soit après chauffage, puisque ces méthodes sont maintenant classiques pour l'étude des corps possédant des couches d'eau intercalées entre leurs feuillets.

L'examen à l'aide des rayons X d'une plaquette orientée, imprégnée de glycérol, fait apparaître un écartement des feuillets. Le premier ordre, toujours très intense, se situe à 6 \AA , le second à $12,8 \text{ \AA}$. Nous avons pu observer ainsi des ordres successifs de l'équidistance fondamentale. Ce comportement est donc tout à fait typique des minéraux du groupe de la montmorillonite. L'accroissement de l'écartement des feuillets correspond à la pénétration d'une couche de glycérol (pl. II, fig. 2 *b*, diag. 4).

Le diagramme d'une plaquette chauffée à 550° s'apparente nettement à celui d'une plaquette formée à partir d'une muscovite broyée, ainsi que l'on peut en juger en comparant les clichés 3 et 4 de la fig. 2 *b*, pl. II.

Nous sommes donc amenés à rapprocher la substance d'un mica gonflé d'eau, ce qui est conforme à la fois à l'étude aux rayons X et à la variation des courbes thermiques après traitement chimique dont nous avons fait état dans notre note antérieure. En effet, les courbes des minéraux du groupe de la montmorillonite sont extrêmement sensibles à ces traitements.

Afin de confirmer cette première détermination, nous avons établi le diagramme de perte de poids de la substance à l'aide de la thermobalance Chévenard. Sur la base des conclusions précédentes nous devons observer une perte d'eau hygroscopique considérable, supérieure à celle de la montmorillonite. Celle-ci perd déjà 14 à 15 % d'eau, alors qu'elle contient, séchée à l'air, deux couches d'eau entre ses feuillets. Nous pouvions estimer que le minéral en contenait quatre, remplissant l'intervalle de 12 Å, correspondant à la différence entre l'épaisseur du feuillet mica et l'équidistance observée. Or la mesure fait apparaître 6 % d'eau hygroscopique. Dans ces conditions, la conclusion semble absurde. Elle reste cependant valable si on admet que la substance est constituée par deux feuillets mica séparés de la paire suivante par une couche de molécules d'eau.

Il faut également envisager que cette disposition ne représente que le cas le plus fréquent et qu'il existe également des groupes de 1, 3 ou 4 feuillets séparés des autres par 1 et peut-être 2 couches d'eau. C'est à ces assemblages que l'on peut attribuer les raies fines comprises entre 22 et 11 Å. Pour vérifier cette interprétation, nous retracerons la courbe du minéral, en supposant que chaque feuillet est séparé par 2 couches d'eau. D'après les résultats de J. Mering (6) l'existence d'une couche d'eau pour deux feuillets correspond à une teneur de 5 % de la matière sèche.

On en déduit que dans le minéral d'Allevard, 2,3 % d'eau

est extérieure aux feuillets. Si on considère un minéral hypothétique possédant 2 couches d'eau par feuillet il contiendrait :

$$(5 \times 4) + 2,3 = 22,3 \% \text{ d'eau,}$$

ceci en admettant que la quantité d'eau extérieure aux feuillets n'a pas changé. Cette teneur en eau correspond à 17,1 % du

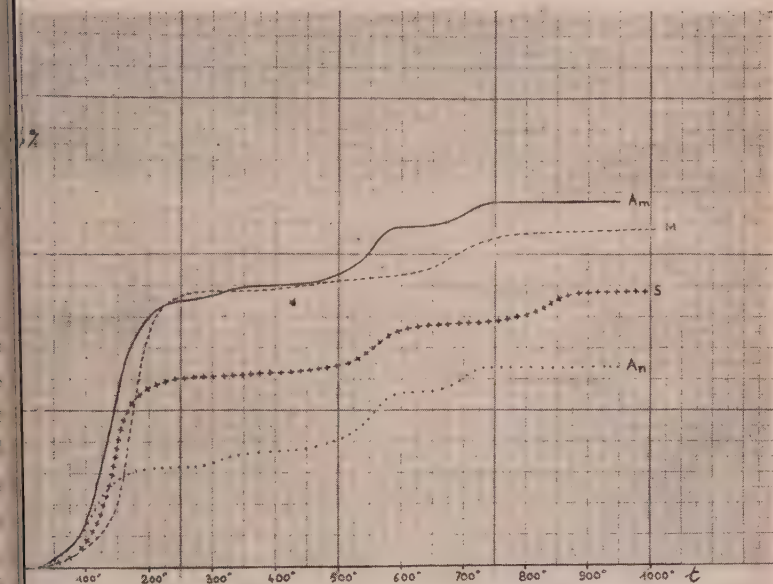


FIG. 3. — Courbes thermopondérales. A_n , d'allevardite; A_m , d'allevardite recalculée; M, montmorillonite; S, saponite.

produit humide, ce qui conduit au tracé de la courbe (A_m) qui coupe celle de la montmorillonite (M). On observera par ailleurs une certaine analogie entre cette courbe (A_m) et celle de la saponite (S) (fig. 3).

Les courbes dilatométriques enregistrées avec l'appareil névenard (c. I, fig. 4) montrent également une similitude de comportement entre le minéral d'Allevard et des phyllites (11 Å) telle que la vermiculite (c. II, fig. 4). On ne peut pas nier, par les contractions consécutives au départ de l'eau

hygroscopique, des différences de gonflement de ces minéraux, car il faut utiliser des échantillons très minces, parfois constitués de plusieurs lamelles empilées, ce qui rend illusoire la mesure de leur épaisseur. L'examen au dilatomètre montre par ailleurs une certaine réversibilité de la perte d'eau. La courbe I, fig. 5, correspond au minéral initial chauffé à 350°.

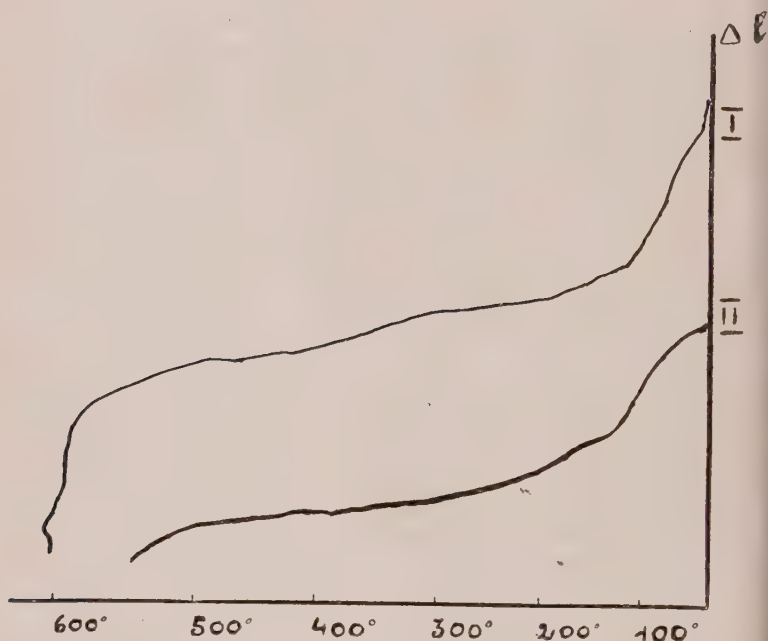


FIG. 4. — Courbes dilatométriques.
I, d'allevardite ; II, vermiculite $< 2 \mu$.

A cette température le chauffage est arrêté et on place une nouvelle plaque photographique sur l'appareil. On enregistre alors la courbe II, fig. 5, de refroidissement et l'on voit que lorsque l'échantillon a atteint la température ambiante, il se dilate à nouveau, ce que montre le petit trait vertical situé à la fin de cette courbe. Il s'agit d'une reprise d'eau, puisque la courbe III, fig. 5 représente à l'échelle près, la courbe I correspondant au minéral initial. Ce comportement permet

l'expliquer pourquoi on constate sur certains diagrammes de rayons X effectués avec des produits chauffés à une température supérieure à celle du départ de l'eau hygroscopique une raie à $22,5 \text{ \AA}$; celle-ci est due à des feuillets qui ont repris l'eau qu'ils avaient perdue.

Il restait à expliquer le caractère fibreux. Or on sait maintenant que de nombreux minéraux présentant une structure

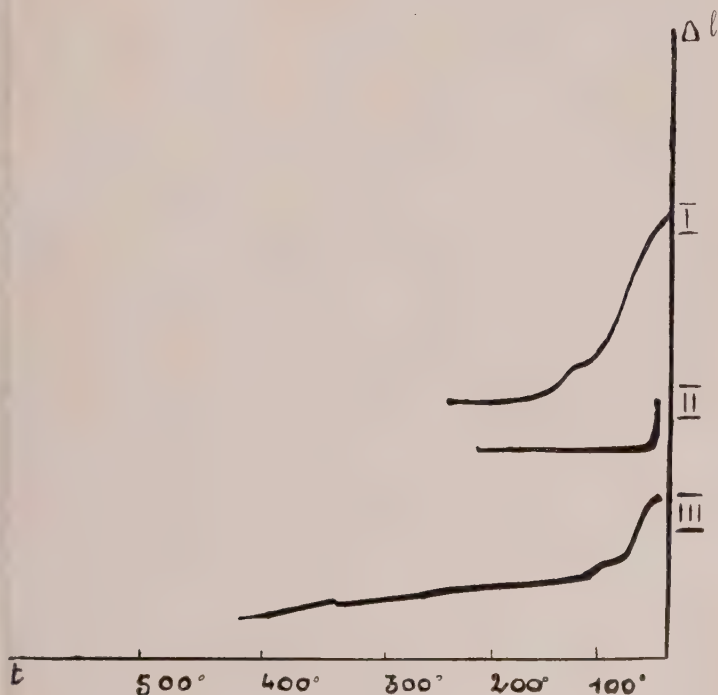


FIG. 5. — Courbes dilatométriques. — I, minéral initial ; II, courbe de refroidissement ; III, courbe du produit réhydraté à l'air.

pylliteuse sont constitués par des cristallites allongés. C'est le cas de l'hectorite, variété magnésienne de montmorillonite. D'autre part les saponites donnent des diagrammes de fibres tout en présentant le comportement de la montmorillonite (7). Pour établir définitivement la forme des particules nous

avons procédé à un examen au microscope électronique. Environ 5 gr. du produit ont été broyés dans 25 cc. d'une solution ammoniacale à 1/1000^e. La solution contenant le corps trituré a été diluée à 250 cc., puis laissée sédimenter 48 h. et décantée. La suspension obtenue après une nouvelle sédimentation de 10 jours, a été à nouveau décantée, elle est à ce moment presque limpide.

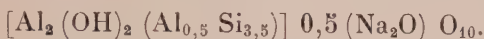
Une goutte de cette suspension a été déposée sur un porte-objet recouvert d'une membrane de Formvar préalablement traitée à la soude pour augmenter sa mouillabilité. Après séchage de la goutte la préparation a été examinée. Les particules se présentent en longs rubans membraneux de plusieurs μ . de longueur (10 μ . et plus) et de largeur comprise entre 6.000 Å et 1 μ . 5 (fig. 1 a, pl. I). Elles sont plus transparentes aux électrons que la plupart des argiles et de ce fait se distinguent difficilement de la membrane support (fig. 1 b, pl. I). Ces rubans sont très fragiles au moment du dépôt de la goutte et durant le séchage ils se brisent irrégulièrement en morceaux semblables d'aspect au mica muscovite finement clivé (fig. 1, planche I). D'autres se roulent sur eux-mêmes de façon analogue aux membranes de montmorillonite (fig. 1 b, pl. I). Enfin la plupart des particules présentent un système de franges alternativement brillantes et sombres; de tels accidents sont généralement attribués à des interférences d'électrons dans le cristal (fig. 1 c, pl. I) sans cependant qu'aucune démonstration rigoureuse ait été donnée. L'ombrage au chrome sous un angle de 20° (fig. 1 d, pl. I) confirme le peu d'épaisseur des rubans, l'ombre étant réduite à un faible liséré pour les particules observées sous une seule épaisseur.

Si le minéral étudié n'est pas constitué par de véritables fibres, il est tout de même formé par des plaquettes très allongées dont l'extrême dissymétrie permet d'expliquer le caractère fibreux qu'il présente macroscopiquement.

Il reste maintenant à interpréter les résultats de l'analyse chimique.

En faisant abstraction de la chaux qui est très vraisemblablement présente à l'état d'impuretés, en bloquant les autres

oxydes comme Al_2O_3 et en groupant K_2O et Na_2O , la formule du minéral peut s'écrire :



Par conséquent ce corps est plus riche en silice qu'un mica normal, car le nombre de remplacement de Si par Al est moins important, il s'ensuit que le nombre de charges à compenser est plus faible.

Ceci explique la pauvreté du minéral en éléments alcalins et c'est probablement parce que les feuillets sont ainsi moins énergiquement fixés les uns aux autres qu'un certain nombre d'entre eux tendent à se séparer.

En définitive ce minéral est un mica du type muscovite, soit altéré, soit en voie de formation, constitué en majeure partie par un empilement de deux feuillets mica rubanés alternant avec une couche de molécules d'eau. Les conditions de tassement conduisent à préférer l'hypothèse d'un minéral en voie de formation. Étant donné ses caractères très particuliers, il doit être considéré comme un type nouveau auquel nous avons donné le nom d'« allevardite » (8).

BIBLIOGRAPHIE

- S. CAILLÈRE. — *CR. Acad. Sc.*, t. 193, 1934, p. 1795. — *Bul. Soc. Fr. Min.*, t. 59, 1936, p. 353.
- E. LEMOINE. — *Bul. Hist. Nat. Savoie*, t. 23, 1935, p. 199.
- M. DÉRIBÉRE. — *Bul. Soc. Fr. Min.*, t. 66, 1943, p. 222.
- S. CAILLÈRE et S. HENIN. — *CR. Acad. Sc.*, t. 222, 1946 p. 328-329.
- S. CAILLÈRE et S. HENIN. — *Ann. Agronom.*, 1^{re} série, 1947, p. 1-50.
- J. MERING. — *Transactions of Faraday Society*, vol. XLII B, 1946, p. 205-219.
- S. CAILLÈRE et S. HENIN. — *Clay Minerals bul.*, n° 4, nov. 1949.
- S. CAILLÈRE et S. HENIN. — *CR. Acad. Sc.*, t. 230, 1950, p. 668-669.
-

LA DÉTERMINATION DES STRUCTURES CRISTALLINES A PARTIR DU DIAGRAMME DE PATTERSON

PAR JOSÉ CLASTRE ET ROBERT GAY,

Faculté des Sciences de Bordeaux,
Laboratoire de Minéralogie.

Sommaire. — On peut décomposer la recherche des structures cristallines en deux étapes : la détermination des positions atomiques, et l'identification des atomes pour chacune de ces positions. On montre qu'il est possible de déterminer, d'une part les positions atomiques, d'autre part d'identifier les atomes directement à partir de la fonction de Patterson, sans la connaissance préalable des phases des facteurs de structure. On indique une méthode pratique permettant cette détermination.

Considérons la fonction de distribution $f'(xyz)$ des atomes dans la structure (atomes ponctuels de masse unitaire), et la fonction de distribution $P'(uvw)$ des « pics » de la fonction de Patterson $P(uvw)$ (pics ponctuels de masse unitaire).

Cette fonction de Patterson $P(uvw)$ peut être donnée sous la forme d'un « produit de composition » de la fonction $f(xyz)$ par elle-même :

$$P(uvw) = \frac{1}{V} \int \int \int_{xyz=0}^a \int^b \int^c f(xyz) \cdot f(x+u, y+v, z+w) dx dy dz.$$

Il en résulte que la distribution $P'(uvw)$ est le *domaine vectoriel* de la distribution $f'(xyz)$, c'est-à-dire que les vecteurs \vec{V}_{ij} qui définissent la position de chaque pic (ij) de la distribution de Patterson à partir de son origine Ω , sont équipollents aux différences $(\vec{v}_i - \vec{v}_j)$ des vecteurs qui définissent la position des atomes (i) , (j) , etc..., par rapport à l'origine O de la structure.

Cette relation permet donc de construire géométriquement

fonction de distribution $P'(uvw)$, connaissant la fonction de distribution $f'(xyz)$: il suffit de superposer à elle-même la fonction de distribution atomique, autant de fois qu'il y a d'atomes ponctuels dans une maille de la structure, en faisant coïncider chaque fois un atome différent avec un point fixe qui sera l'origine Ω de l'espace de Patterson. Dans cette opération les axes ox, oy, oz , de la structure restent constamment parallèles aux axes $\Omega u, \Omega v, \Omega w$ de la fonction de Patterson. Inversement une méthode permettant de déterminer géométriquement les positions des atomes de la structure à partir de la distribution de Patterson serait intéressante, car elle n'exigerait pas la connaissance préalable des phases des facteurs de structure $F(hkl)$. La fonction de Patterson $P(uvw)$ est en effet une donnée immédiate de la diffraction des rayons X par un cristal, car elle résulte de la transformation de Fourier :

$$P(uvw) = \sum_{h=-\infty}^{+\infty} \sum_{k=-\infty}^{+\infty} \sum_{l=-\infty}^{+\infty} F^2(hkl) \cdot e^{i2\pi \left(h \frac{u}{a} + k \frac{v}{b} + l \frac{w}{c} \right)}$$

$F^2(hkl)$ représente les « intensités corrigées » des taches du diagramme de diffraction.

Pour obtenir la structure, il suffira ensuite de préciser quelle place d'atome est fixée sur chacune des positions ainsi déterminées.

I

Buerger (1), Garrido (2), et nous-mêmes, (3) avons montré qu'il était possible de résoudre géométriquement la détermination des positions atomiques. La méthode indiquée en même temps par Garrido et nous-mêmes est d'une application pratique plus facile que celle de Buerger : il suffit de superposer deux fois la distribution $P'(uvw)$ à elle-même, en lui faisant subir une translation qui amène un pic de l'une d'elle à coïncider avec l'origine de l'autre. Les pics des deux distributions superposées qui coïncident dans cette opération forment une nouvelle distribution réduite (Garrido), qui contient la distribution atomique cherchée, avec, en général, un certain nombre

de pics parasites. Ces derniers pourront être éliminés par une nouvelle superposition.

Étude théorique.

La figure 1 représente d'une part la distribution atomique d'axes ox et oy , et d'autre part la distribution de Patterson dans deux positions différentes, définies à partir de O par les translations :

$$\overrightarrow{O\Omega_1} = \overrightarrow{t_1} \quad \text{et} \quad \overrightarrow{O\Omega_2} = \overrightarrow{t_2}.$$

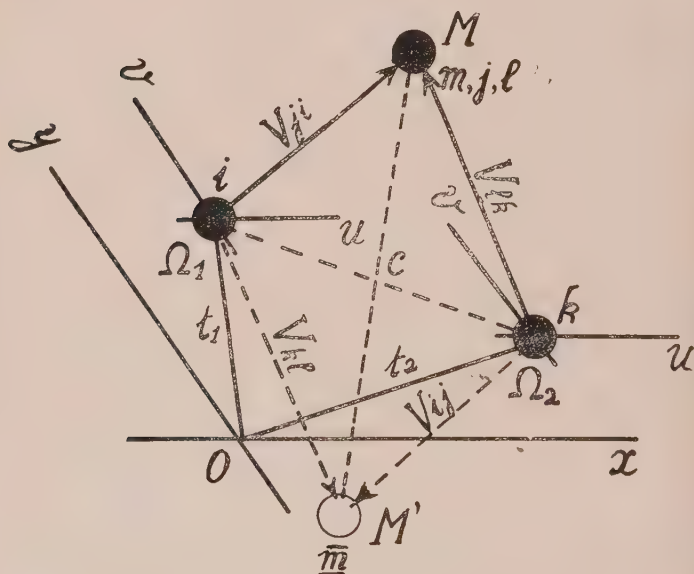


FIG. 1. — Cas général : une seule superposition.

Soit M un point de coïncidence de ces deux distributions de Patterson : (ji) dans la distribution $P'\Omega_1$, (lk) dans la distribution $P'\Omega_2$. La condition pour que M soit une position atomique de la structure d'origine O , c'est-à-dire pour que $\overrightarrow{OM} = \overrightarrow{v_m}$, est que l'on ait les relations :

$$(\overrightarrow{v_j} - \overrightarrow{v_i}) + \overrightarrow{t_1} = (\overrightarrow{v_l} - \overrightarrow{v_k}) + \overrightarrow{t_2} = \overrightarrow{v_m}. \quad (1)$$

On démontre que, pour que ces relations soient satisfaites quel que soit l'atome m choisi dans la structure, il faut et il suffit que l'on ait :

$$\vec{v}_j = \vec{v}_l = \vec{v}_m \quad (2)$$

ce qui entraîne :

$$\vec{t}_1 = \vec{v}_i \quad \text{et} \quad \vec{t}_2 = \vec{v}_k. \quad (3)$$

Les relations (3) montrent que les translations que l'on doit faire subir à la distribution de Patterson, doivent amener son origine Ω sur deux atomes i et k de la structure. Autrement dit, lorsqu'on superpose les deux distributions $P'(uvw)$ de façon que l'origine Ω_2 de l'une coïncide avec un pic quelconque (ki) de l'autre (Ω_1 et (ki) appartenant obligatoirement l'une des distributions atomiques qui composent la distribution de Patterson), les coïncidences observées contiennent toujours la structure, avec, en général, des pics parasites.

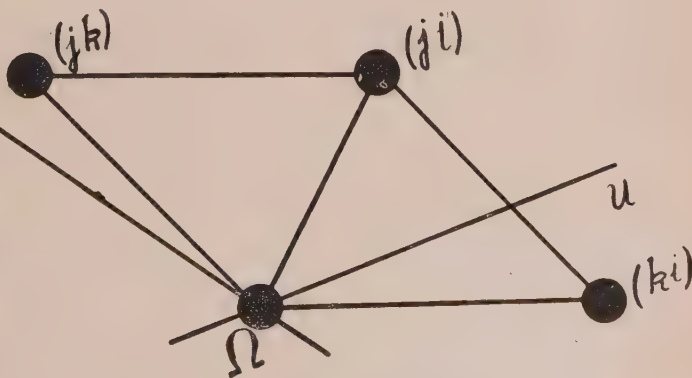


FIG. 2. — Les pics Ω , (ji) , et (ki) de la distribution de Patterson appartiennent à la même structure.

Remarque : Si au lieu de superposer un pic (ki) de $P'\Omega_1$, à l'origine de $P'\Omega_2$, on superposait un pic (ki) de $P'\Omega_1$ à un autre quelconque (mn) de $P'\Omega_2$, la distribution des points de coïncidence m ne contiendrait pas en général la structure. Pour qu'elle la contienne, il faut choisir les pics (ki) et (ji) tels que les vecteurs $(\vec{V}_{ji} - \vec{V}_{ki})$ soient équipollents à un vecteur

\vec{V}_{jk} d'origine Ω . Les pics (ji) et (ki) de la distribution de Patterson appartiennent alors, comme Ω_1 et (ki) à une même distribution atomique (fig. 2).

Étude des différents cas.

Les pics parasites peuvent en général être éliminés, soit par un choix convenable de la première superposition, soit par une superposition supplémentaire.

1) Cas d'une structure non centrée.

La distribution de Patterson possède toujours un centre de symétrie : à un vecteur \vec{V}_{ij} correspond un vecteur \vec{V}_{ji} tel que :

$$\vec{V}_{ij} = -\vec{V}_{ji}$$

chaque point de coïncidence m , défini par rapport à Ω_1 et Ω_2 par les vecteurs \vec{V}_{mi} et \vec{V}_{mk} , est donc accompagné d'un point \bar{m} défini par les vecteurs \vec{V}_{im} et \vec{V}_{km} . Les points m et \bar{m} sont symétriques par rapport au milieu C de la translation $\overline{\Omega_1\Omega_2}$ (fig. 1). Cette première superposition donne donc, par coïn-

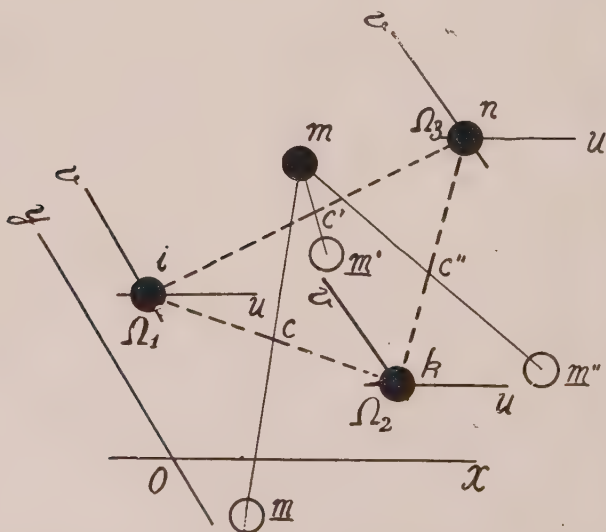


FIG. 3. — Cas général : deux superpositions.

idence, une distribution représentant la distribution atomique, accompagnée de son inverse par rapport au centre C. Il faut donc éliminer l'une des deux structures ; il suffit pour cela d'une seconde superposition :

Plaçons l'origine Ω_3 d'une troisième distribution $P'\Omega_3$ en un point de coïncidence des deux premiers (fig. 3). Ω_3 est donc confondu avec le pic (ni) de la distribution $P'\Omega_1$, et avec le pic (nk) de la distribution $P'\Omega_2$. La superposition de $P'\Omega_3$ à $P'\Omega_1$ donne par coïncidence la structure m et son énantiomorphe m' par rapport au milieu C' de $\overline{\Omega_1\Omega_3}$. La superposition de $P'\Omega_3$ à $P'\Omega_2$ donne par coïncidence la structure m et son énantiomorphe m'' par rapport au milieu C'' de $\overline{\Omega_2\Omega_3}$. Les points de coïncidence communs à $P'\Omega_1$, $P'\Omega_2$, $P'\Omega_3$ représentent uniquement la distribution atomique m , la structure énantiomorphe ayant disparu.

Cas d'une structure centrée.

A chaque vecteur \vec{v}_i de la structure correspond un vecteur tel que : $\vec{v}_i = -\vec{v}_i$. La condition générale de coïncidence :

$$(\vec{v}_j - \vec{v}_i) + \vec{t}_1 = (\vec{v}_1 - \vec{v}_k) + \vec{t}_2 = \vec{v}_m \quad (1)$$

s'applique :

$$(\vec{v}_j + \vec{v}_k) + \vec{t}_1 = (\vec{v}_1 + \vec{v}_1) + \vec{t}_2$$

$$\therefore \vec{v}_k = -\vec{v}_k \quad \text{et} \quad \vec{v}_i = -\vec{v}_i$$

il en résulte :

$$(\vec{v}_j - \vec{v}_k) + \vec{t}_1 = (\vec{v}_1 - \vec{v}_1) + \vec{t}_2 \quad (4)$$

$-\vec{v}_k$ représente le vecteur \vec{V}_{jk} de la distribution P' de Patterson ; de même $(\vec{v}_1 - \vec{v}_i)$ représente le vecteur \vec{V}_{li} . Il s'ensuit que, lorsque la coïncidence est réalisée par (1) pour les pics (i) de $P'\Omega_1$ et (lk) de $P'\Omega_2$ sur un atome m de la structure, elle est également réalisée par (4) pour les pics $(\bar{k}j)$ de $P'\Omega_1$ et (il) de $P'\Omega_2$ sur un point m' qui n'appartient pas à la structure (fig. 4).

On sait d'autre part que la coïncidence est réalisée pour les

es sommets d'un parallélogramme dont le centre est Ω et dont
s pics (ij) $(i\bar{i})$ $(i\bar{j})$ $(i\bar{i})$ occupent les milieux des côtés⁽¹⁾.

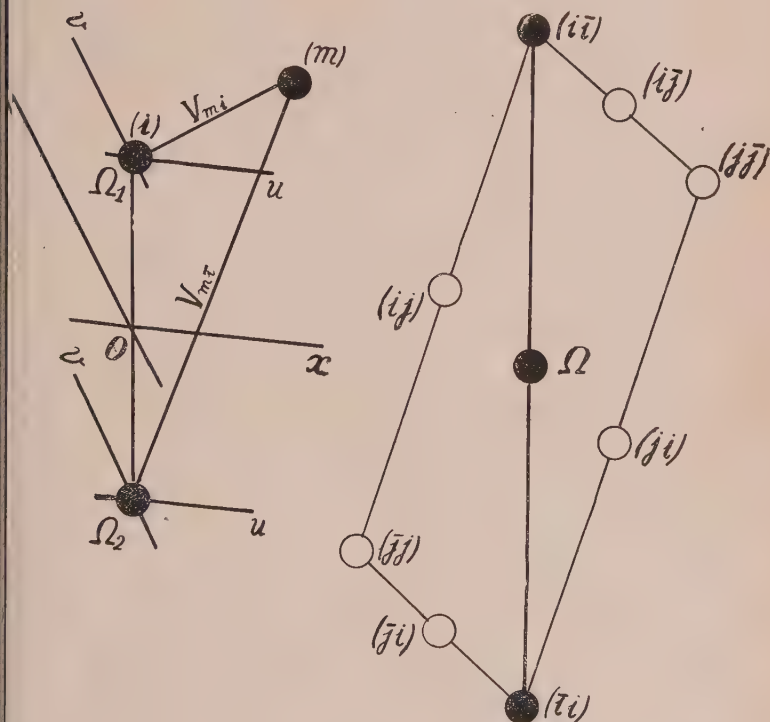


Fig. 5. — Cas d'une structure centrée : une seule superposition suffit.
Détermination des pics (ii) et $(i\bar{i})$ dans la distribution de Patterson d'une
structure centrée.

Coïncidences parasites.

Nous avons supposé jusqu'à maintenant que la structure
présentait que des atomes en position générale, et qu'aucune
relation à coefficients entiers n'existait entre les différents vec-
teurs \vec{v}_i qui caractérisent les positions de ces atomes. Dans le

⁽¹⁾ Cette remarque permet de distinguer directement sur la distribution de
Patterson si on a affaire à une structure centrée ou non centrée.

cas contraire, il apparaît des coïncidences parasites qui ne correspondent pas à des positions atomiques.

Il y aura coïncidence parasite au point μ (qui n'appartient pas à la structure), si :

$$\begin{aligned} \overrightarrow{(v_j - v_i)} + \overrightarrow{t_1} &= \overrightarrow{(v_l - v_k)} + \overrightarrow{t_2} \neq \overrightarrow{v_m} \\ \overrightarrow{(v_j - v_i)} - \overrightarrow{(v_l - v_k)} &= \overrightarrow{(t_1 - t_2)} \end{aligned} \quad (5)$$

C'est là une relation à coefficients entiers entre les vecteurs :

$$\begin{aligned} \overrightarrow{V_{ji}} &= \overrightarrow{v_j} - \overrightarrow{v_i} \\ \overrightarrow{V_{lk}} &= \overrightarrow{v_l} - \overrightarrow{v_k} \\ \overrightarrow{\Omega_1 \Omega_2} &= \overrightarrow{t_1} - \overrightarrow{t_2}. \end{aligned}$$

Pratiquement cette relation peut être satisfaite, soit exactement, soit d'une manière approximative (surtout si la distribution de Patterson présente un grand nombre de pics). Elle donnera alors lieu à des coïncidences parasites réelles ou approchées, doublées de coïncidences symétriques par rapport au point C milieu de $\Omega_1 \Omega_2$.

Ainsi, après la première superposition, la nouvelle distribution obtenue contient la distribution atomique et son énantiomorphe, les pics parasites et leurs énantiomorphes.

Si lors de la seconde superposition on choisit un pic quelconque (pq) de cette distribution, et si (pq) est un pic parasite n'appartenant pas à la distribution énantiomorphe, la superposition de Ω_3 à ce pic (pq) donnera une distribution qui contiendra encore des pics parasites, mais qui ne contiendra plus la structure. Il faut donc choisir un pic tel que (ni) appartenant à la structure. Les pics tels que (ni) se reconnaissent à ce que les vecteurs ($\overrightarrow{V_{ni}} - \overrightarrow{V_{ki}}$) qui les définissent par rapport à un pic (ki) choisi lors de la première superposition, sont équipollents, dans la distribution $P'(uvw)$, à un vecteur $\overrightarrow{V_{nk}}$ d'origine Ω .

Dans cette deuxième opération, la relation (5) à coefficients entiers ne sera pas satisfaite pour les mêmes pics, car la valeur de $(\overrightarrow{t_1} - \overrightarrow{t_2})$ sera différente. Les coïncidences parasites,

s'il s'en produit, seront différentes et par conséquent ne coïncideront pas avec celles de la première superposition. Ainsi la deuxième superposition supprime à la fois la structure énantiomorphe et les pics parasites.

On peut d'ailleurs faire une 3^e, une 4^e superposition... en respectant toujours les règles établies. La distribution des pics de coïncidence reste identique à elle-même : *c'est la preuve qu'elle représente bien la distribution atomique, et elle seule.*

Dans le cas des structures centrées, nous avons montré qu'une seule superposition convenablement choisie, suffisait à faire apparaître la structure sans son énantiomorphe. Mais il peut naturellement apparaître des pics parasites si la condition (5) est remplie pour certains atomes. Il suffirait encore de faire une seconde superposition pour faire disparaître ces pics parasites, comme dans le cas des structures non centrées. Mais il est également possible de les éliminer en remarquant que les pics de la structure admettent pour éléments de symétrie ceux du groupe de recouvrement déterminés par ailleurs, tandis que les pics parasites n'admettent que le centre de symétrie C.

Cas des structures possédant un axe hexagonal.

C'est un cas particulier des structures centrées. Toutefois le diagramme de Patterson des structures hexagonales est caractérisé par des équipollences multiples, qui vont avoir pour conséquence que les règles de superpositions relatives aux structures centrées ne s'appliquent plus.

Considérons la distribution $a b c d e f$ de 6 atomes symétriques par rapport à l'axe sénaire (fig. 6). Chaque vecteur tel que $(\vec{v}_b - \vec{v}_a)$ de cette distribution est équipollent à un vecteur \vec{Oc} , O étant la trace de l'axe sénaire. Dans la distribution de Patterson correspondante, tous les vecteurs $(\vec{V}_{ad} - \vec{V}_{be})$, $(\vec{V}_{ae} - \vec{V}_{bf})$, etc..., sont eux aussi équipollents au vecteur \vec{V}_{ba} d'origine Ω . La conséquence de cette propriété, particulière aux distributions de Patterson hexagonales, est que, quelle que soit la superposition effectuée, on trouvera toujours un point

de coïncidence sur l'axe hexagonal, même s'il n'y a aucun atome sur cet axe. Quel que soit le nombre de superpositions successives, cette coïncidence particulière ne pourra être éliminée.

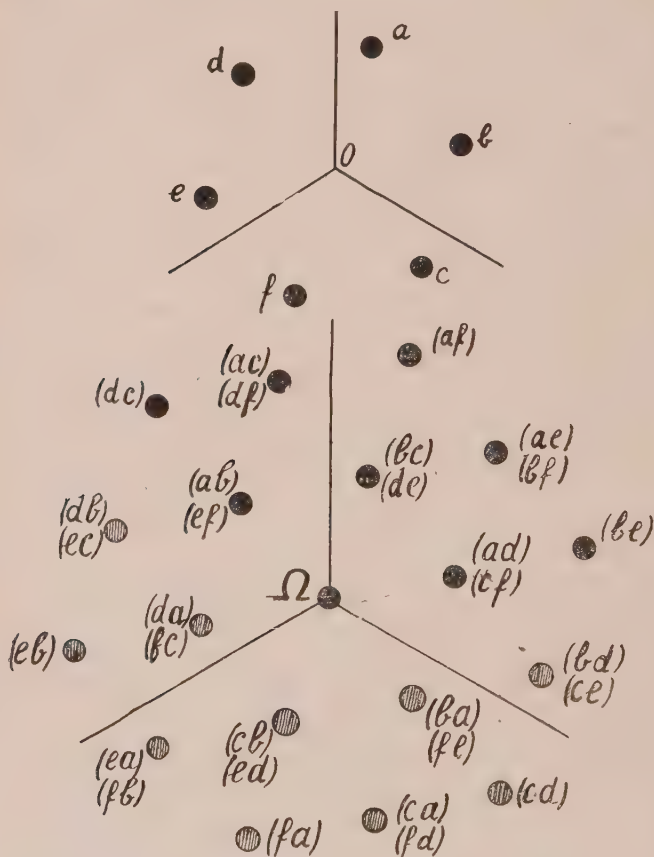


FIG. 6. — Distribution atomique admettant un axe de symétrie sénaire.

Distribution de Patterson correspondante : une seule superposition après la translation Ω, af fait apparaître la distribution atomique, plus les pics parasites (bc) , (dc) , et (be) .

Appliquons maintenant la règle de superposition relative aux structures centrées. Superposons par exemple le pic af de $P'\Omega_1$ à l'origine Ω_2 de $P'\Omega_2$. Il existe dans la distribution de

Patterson des structures hexagonales, des vecteurs tels que $(\vec{V}_{dc}, \vec{V}_{eb}), (\vec{V}_{ab} - \vec{V}_{ca}), \text{etc.}\dots$, qui sont équipollents à la translation \vec{V}_{af} effectuée. Dans cette translation les pics (eb) vont se superposer aux pics (dc) , de la même façon que les pics (ca) aux pics (ab) , de telle sorte que nous verrons apparaître, en plus du pic parasite particulier situé sur l'axe sénair, deux autres coïncidences parasites (dc) et (be) situées sur la perpendiculaire au milieu du vecteur de translation \vec{V}_{af} et formant avec les points Ω_1 et Ω_2 un losange à 120° . Ces pics sont donc aisément repérables.

Ces coïncidences parasites ne disparaîtront pas ensemble si, conformément à la règle, nous effectuons une seconde superposition en fixant l'origine Ω_3 sur l'un des points de coïncidence de l'opération précédente. Pour y parvenir, il faudra faire une troisième superposition, à condition encore que la translation $\overline{\Omega_3\Omega_4}$ ne soit pas équipollente à $\frac{1}{2}\overline{\Omega_1\Omega_2}$.

Si au contraire on applique la règle générale relative aux structures non centrées (la superposition de Ω_2 à un pic quelconque de $P'\Omega_1$), il apparaîtra les deux structures énantiomorphes, plus les 2 coïncidences parasites particulières situées sur les axes sénaires de ces deux structures, plus 2 coïncidences parasites qui formeront avec $\Omega_1\Omega_2$ un losange à 120° . Une seconde superposition, effectuée suivant les règles précédemment indiquées, fera disparaître la structure énantiomorphe, et les 2 pics parasites formant un losange à 120° avec $\frac{1}{2}\Omega_2$. Il restera uniquement la distribution atomique et les coïncidences sur les axes sénaires.

II

Il est possible de mesurer directement sur le diagramme de Patterson, la « masse intégrée » des différents pics. On dit que la masse d'un pic (ij) de la fonction de Patterson est proportionnelle au produit des nombres Z_i et Z_j des atomes ou ions placés sur les positions i, j de la distribution $f'(xyz)$, ce qui s'écrit :

$$M_{ij} = K \cdot n \cdot Z_i \cdot Z_j. \quad (6)$$

K est un coefficient de proportionnalité qui dépend de l'échelle des intensités adoptées, et n représente la fréquence des distances interatomiques égales à \bar{V}_{ij} dans la maille.

On peut donc établir autant d'équations de la forme (6) qu'il y a de pics dans la distribution de Patterson, ce qui donnera dans le cas général un système de $N(N-1)$ équations à N inconnues, N étant le nombre d'atomes dans une maille de la structure.

La connaissance des positions atomiques donnera immédiatement les fréquences n des distances interatomiques \bar{V}_{ij} , ce qui permet de résoudre le système général, et de déterminer les valeurs K, Z_i , c'est-à-dire la nature des atomes placés en chacune des positions atomiques i de la structure.

III. — APPLICATION PRATIQUE.

La précision de cette méthode de superposition dépend avant tout de la précision avec laquelle on a pu établir la carte de Fourier-Patterson : il faut que les pics soient aussi bien délimités que possible et qu'aucun pic ne soit omis.

Dans une « section plane » de Patterson, les pics, en général peu nombreux, sont bien délimités ; la méthode des superpositions peut être appliquée directement.

Dans une « projection plane » de Patterson, dès que la structure comprend un certain nombre d'atomes en position générale, les nombreux pics arrivent à se confondre les uns avec les autres ; il est souvent impossible, dans un paquet de pics, de préciser le nombre et la position des pics composants.

Il est cependant possible d'améliorer le « pouvoir séparateur » de la projection de Fourier-Patterson en calculant, non plus la transformée de la série F^2_{hkl} , mais de la série $\frac{F^2_{hkl}}{\Sigma f^2}$ — on sait que cela revient à considérer les atomes de la structure comme des points. Cependant, comme la série est toujours rapidement limitée (par le pouvoir séparateur relatif à la longueur d'onde employée ou par le facteur thermique), la transformée de la série limitée $\frac{F^2_{hkl}}{\Sigma f^2}$ n'est pas une distribution

points mais de pics étroits entourés d'anneaux rapidement amortis. On observe quelquefois des pics secondaires dûs à l'interférence de ces anneaux, mais ces pics parasites seront éliminés au cours des superpositions.

En second lieu, il est important que le calcul de la transformée soit conduit de telle façon qu'aucun pic de la distribution de Patterson ne soit omis. Si la distribution de Patterson était incomplète, les superpositions ne feraient apparaître que les éléments de structure. Cela nécessite un calcul point par point très serré et précis.

Méthode photographique. — La méthode de « calcul optique » de la transformée de Fourier, par diffraction à l'infini en lumière monochromatique (4), présente des avantages réels pour le but que l'on se propose :

1) Elle est précise au même degré que le calcul, à condition que l'optique de l'appareil de diffraction soit parfaite et le réglage très soigné. Elle serait exacte si l'on pouvait représenter les intensités des taches par des points lumineux ; mais comme, pratiquement, on est obligé de les représenter par des cercles transparents (dont la surface est proportionnelle à l'intensité), on effectue une transformation de Bessel et non une transformation de Fourier. Toutefois la transformée de Bessel se confond pratiquement avec la transformée de Fourier sur plusieurs périodes à partir du point central, à condition que le diamètre de la tache la plus intense soit suffisamment petit par rapport à la période du réseau polaire.

2) Le calcul optique est, par nature, continu et, en cela, préférable aux méthodes de calcul point par point.

3) Les isophotes correspondent aux courbes de niveau de la carte de Patterson ; elles sont en gros proportionnelles à l'intensité lumineuse reçue, donc au carré du module de la fonction de Patterson : le contraste est donc accru et permet de déceler plus facilement les détails.

La méthode photographique s'adapte particulièrement bien à la superposition des projections ou des sections de Patterson.

On se sert pour cela d'un agrandisseur photographique sur bâti indéformable, comportant un châssis porte-plaque, doué de deux mouvements de translation rectangulaires.

On projette le diagramme photographique de Patterson placé dans le châssis mobile, sur la table d'agrandissement, et l'on note soigneusement, au moyen d'un repère fixe, les positions des pics de ce diagramme que l'on se propose d'adopter pour définir les translations dans les superpositions successives. Il ne reste plus qu'à photographier sur un même papier sensible le diagramme de Patterson dans les diverses positions ainsi définies. Seules les positions atomiques restent masquées à la lumière pendant chaque pose. La structure apparaît dès la deuxième superposition en blanc sur fond noir ; elle ne fera que s'accroître et se préciser par accroissement de contraste au cours des superpositions suivantes.

BIBLIOGRAPHIE

1. M. J. BUERGER. — Vector Sets, *Acta Cryst.* (1950), 3, p. 87-97.
 2. J. GARRIDO. — *C. R. Acad. Sc.* (1950), 230, n° 21, p. 1878-1879.
 3. J. CLASTRE et R. GAY. — *C. R. Acad. Sc.* (1950), 230, n° 21, p. 1876-1877.
 4. W. L. BRAGG. — The X-Ray microscope, *Nature* (Londres), (1942), 149, p. 470-471.
-

ÉTUDE DE LA RADIOACTIVITÉ DE QUELQUES ROCHES PAR L'ÉMULSION PHOTOGRAPHIQUE

PAR RENÉ COPPENS,
Professeur au Lycée de Vannes.

Sommaire. — Emploi de l'émulsion photographique pour l'étude de la radioactivité des roches. — Les éléments radioactifs des roches émettent des rayons α dont les trajectoires s'inscrivent dans l'émulsion. — Possibilité de numération des rayons α et de détermination des teneurs en uranium et en thorium.

Étude de la disparition des traces des trajectoires des rayons α et moyens d'y remédier.

Les roches communes examinées (granites, granulites, gneiss, mica-schistes...) ont une concentration en uranium moyenne voisine de 7 à 10 — 5 et une concentration en thorium environ 3 fois plus forte.

L'activité de ces roches est due, en majeure partie (60 à 70 %), à des inclusions dont l'étude minéralogique est en cours. Ces inclusions semblent pouvoir se classer en 4 catégories :

- 1° à forte teneur en uranium (70 %);
- 2° à forte teneur en thorium (70 %);
- 3° à faible teneur en uranium (quelques unités pour cent);
- 4° à faible teneur en thorium (1 à 2 %).

La radioactivité de ces inclusions n'est pas uniforme et l'étude des échantillons met en évidence l'existence de petits grains ayant des teneurs inférieures ou supérieures aux précédentes. D'autre part l'évaluation de la radioactivité globale des sables des plages d'une rivière montre une répartition très irrégulière des éléments actifs.

INTRODUCTION

Le 30 mars 1896, Henri Becquerel découvrit qu'une plaque photographique enveloppée de papier noir était impressionnée lorsqu'elle restait au voisinage d'un sel d'uranium. Ce fut là le point de départ de la découverte de la radioactivité.

Cette action des rayonnements radioactifs sur l'émulsion

photographique est bien connue et de nombreux essais ont été tentés pour l'utiliser dans la numération des particules α . Celles-ci, pénétrant dans une couche sensible ordinaire, produisent, après développement, des files de points noirs qu'on peut reconnaître et compter (1), mais qui sont distants les uns des autres à cause de la grosseur des grains de l'émulsion.

Ces dernières années des recherches furent entreprises (2), en vue d'obtenir des émulsions permettant un meilleur enregistrement. Grâce à l'augmentation de la concentration en bromure d'argent (10 fois plus forte que dans les plaques ordinaires) et à des modifications de la technique de fabrication, on possède actuellement des plaques photographiques sensibles à grains très fins et dont le voile chimique est considérablement réduit.

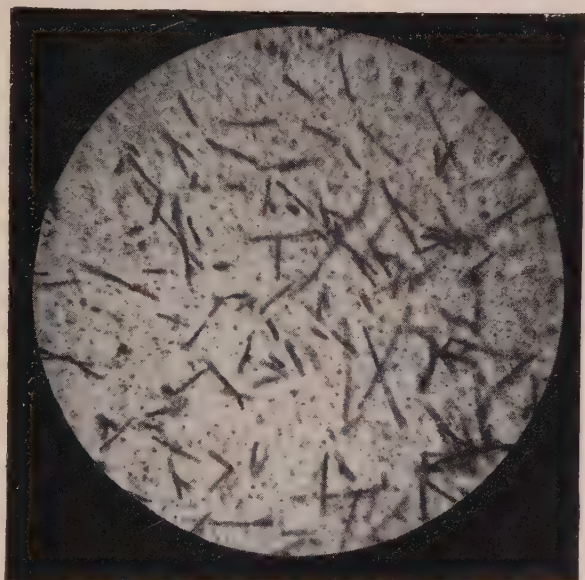
Il est possible, avec de telles plaques, d'obtenir les traces des trajectoires des particules α . Il suffit de les placer au contact d'un corps radioactif. Après un développement simple, mais qui demande néanmoins quelques précautions, on peut voir sur l'émulsion, par observation au microscope de faible grossissement, des traces en forme de traits rectilignes dont la longueur varie de quelques microns à quelques dizaines de microns (fig. 1). Un grossissement plus fort permet de constater que ces traits sont formés d'une suite de grains d'argent noircis dont le diamètre atteint environ $0,2 \mu$ (3):

Au premier abord, il semble logique d'admettre que le nombre de rayons α inscrits par une substance sur une plaque photographique est proportionnel à sa concentration en matière radioactive et au temps pendant lequel a eu lieu le contact. L'examen d'une plaque impressionnée pendant un temps déterminé doit donc permettre l'évaluation de la teneur d'un minéral.

D'autre part, un corps contenant une très faible proportion de matière radioactive peut donner sur une émulsion un nombre très grand de trajectoires de rayons α à condition de le laisser en contact avec cette émulsion pendant un temps très long. La durée de la pose ne peut être illimitée à cause des contaminations toujours possibles (impuretés contenues dans la

élatine ou dans le verre, poussières radioactives de l'air...), mais elle peut, dans certaines conditions, atteindre plusieurs fois et l'examen d'un corps d'activité extrêmement faible semble possible.

En nous basant sur les calculs effectués par M^{me} Joliot-Curie (4) et donnant le nombre de particules α visibles émises



1. — Une plaque photographique à grains très fins, placée au contact d'un corps radioactif est impressionnée par les rayons α qui sont émis par le corps. Après développement l'observation au microscope montre une série de traits rectilignes dont la longueur varie de quelques microns à quelques dizaines de microns.

centimètre carré de surface libre et par seconde par un corps en fonction de sa concentration en matières radioactives et de sa composition, nous nous sommes proposé, dans le travail qui suit :

1° de déterminer expérimentalement la concentration en uranium ou en thorium de quelques minerais connus en évaluant le nombre de particules α émises par centimètre carré et

par seconde et de vérifier les résultats en les comparant à ceux donnés par une autre méthode ;

2° de préciser si un corps radioactif examiné contient de l'uranium ou du thorium ou les deux corps à la fois en mesurant les longueurs des trajectoires des rayons α et, dans le cas où uranium et thorium coexistent, de déterminer le rapport des concentrations de ces deux corps ;

3° d'étudier la faible radioactivité de quelques roches, radio-activité déjà mise en évidence par des méthodes complètement différentes, et de montrer que cette radioactivité est, en majeure partie, concentrée dans des inclusions comme le prouvent diverses études minéralogiques, en particulier celles relatives à la formation des halos pléochroïques.

CHAPITRE I

CALCUL DU NOMBRE DE RAYONS α VISIBLES INSCRITS PAR CENTIMÈTRE CARRÉ ET PAR SECONDE SUR UNE ÉMULSION PHOTOGRAPHIQUE PAR UN CORPS RADIOACTIF

§ 1. — Nombre de rayons α émis par centimètre carré et par seconde par un corps radioactif.

Des formules calculées par Evans (5) permettent d'évaluer le nombre de rayons α émis par centimètre carré et par seconde par un radioélément disposé en couche épaisse et dont on connaît la composition chimique. M^{me} Joliot-Curie (4) a appliqué le problème à l'étude des minerais qui contiennent en équilibre soit l'uranium et l'actinium et leurs dérivés, soit le thorium et ses dérivés, soit les corps des trois séries à la fois.

Nous reprenons ci-après les calculs afin de préciser certaines données qui dépendent du microscope utilisé.

Appelons R le parcours d'une particule α dans l'air à la température de 0° centigrade et sous la pression de 760 mm. de mercure, et R' le parcours de la même particule dans la couche examinée. Nous désignerons par K le rapport

$$K = \frac{R'}{R} = \frac{\text{parcours dans le solide}}{\text{parcours dans l'air}}.$$

Les particules α après avoir traversé une partie du solide pénètrent dans l'émulsion de la plaque photographique et y laissent la trace de leur trajectoire.

Toutes ces trajectoires ne sont pas visibles. En effet, pour qu'elles le soient, elles doivent avoir dans l'émulsion un parcours suffisant. Il faut, par exemple, qu'elles aient dans

cette émulsion un parcours au moins égal à ρ' , ce qui correspond dans l'air à un parcours ρ tel que :

$$K_1 = \frac{\rho'}{\rho} = \frac{\text{parcours dans l'émulsion}}{\text{parcours dans l'air}}.$$

Ce rapport K_1 se détermine facilement. Il suffit de mesurer les trajectoires les plus longues émises par un corps radioactif ne contenant par exemple que de l'uranium et ses dérivés, sans thorium. Les trajectoires les plus longues correspondent aux particules émises par le Ra C'. Elles ont dans l'air un parcours égal à 6,87 cm. L'expérience montre que les

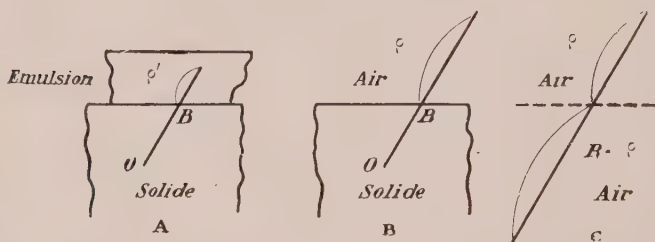


FIG. 2. — Pour qu'une trajectoire de rayon α soit visible dans l'émulsion photographique, elle doit avoir au minimum un trajet ρ' dans cette émulsion (A). Cette longueur ρ' dans l'émulsion correspond à une longueur ρ dans l'air (B). Si R est le parcours total du rayon dans l'air, le parcours dans la roche correspond à un parcours $(R-\rho)$ dans l'air (C).

trajectoires les plus longues tracées dans l'émulsion par la pechblende, la carnotite, l'autunite, la tobernite, tous corps exempts de thorium, mesurent 38 μ , donc le rapport $K_1 = 38/68.700$.

Le parcours dans l'air d'une particule visible doit donc être égal à (fig. 2) :

$$\rho = \frac{\rho'}{K_1} = \frac{68.700}{38} \rho'.$$

Son parcours dans la roche doit correspondre à un parcours dans l'air égal à $R-\rho$. Il devra donc être égal à $K(R-\rho)$.

Si une trajectoire fait avec la normale à la surface un angle

(fig. 3), elle est visible si elle est issue d'un point O situé à une profondeur AO telle que

$$0 \leq AO \leq K (R - \rho) \cos \theta.$$

En supposant que le corps radioactif émette N particules α par centimètre cube et par seconde, on peut calculer le nombre

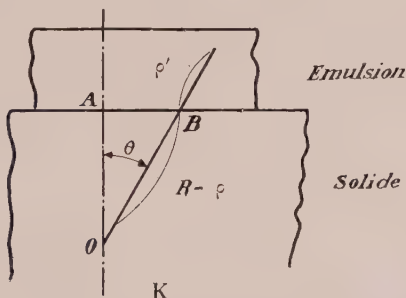


Fig. 3. — Le parcours $(R - \rho)$ dans l'air correspond à un parcours $(R - \rho) K$ dans la roche. K est un coefficient qui dépend de la nature de la roche. Les rayons émis sous un angle θ ne seront visibles que si OA est inférieur à une valeur limite.

de celles qui émergent par centimètre carré de surface libre par seconde dans les conditions exigées précédemment.

On trouve :

$$n = \frac{N}{4} K (R - \rho) \text{ avec } \rho = \frac{\rho'}{K_1}$$

où

$$n = \frac{N}{4} K \left(R - \frac{\rho'}{K_1} \right).$$

Avec le microscope utilisé, nous avons pu, sans erreur possible, distinguer des trajectoires mesurant 3 μ .

Nous posons donc $\rho' = 3 \mu$

où

$$\rho = (68.700 : 38) \rho' = 5.400 \mu$$

où

$$n = \frac{N}{4} K (R - 0,54 \text{ cm.}).$$

Une roche quelconque contient généralement tous les éléments de la série de l'uranium et de l'actinium ou tous ceux

de la série du thorium et même parfois ceux des 3 séries à la fois.

Les figures 4, 5 et 6 rappellent les familles radioactives avec leurs émissions de rayons α et les parcours dans l'air de chacun d'eux.

La série de l'uranium fournit 8 rayons différents en négligeant les rayons émis par le Ra C'' (0,38 %). La série de l'actinium en fournit 7, ceux de l'actinium C' étant négligés

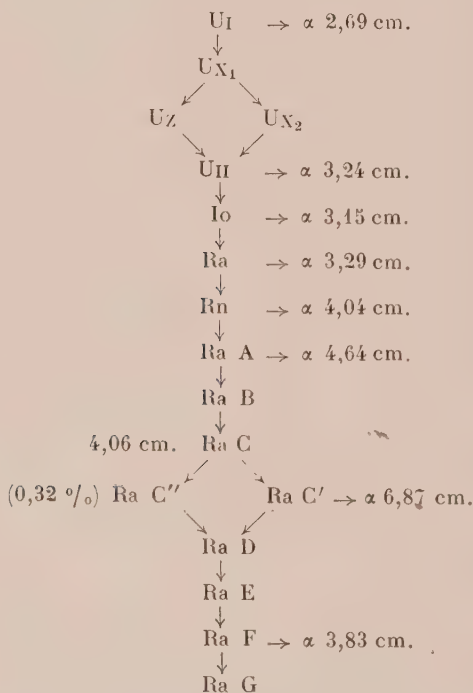


FIG. 4. — Famille radioactive de l'uranium avec indication des rayons α émis et de leur parcours dans l'air.

(0,32 %). La série du thorium en donne 6, étant entendu que la désintégration du thorium C produit soit le rayon du thorium C'' (4,71 cm.), soit le rayon α du thorium C' (8,62 cm.) dans les proportions de 35 % du premier contre 65 % du second.

Si un corps émet N rayons α par centimètre cube et par

seconde, il y aura pour toute une série en équilibre radioactif
émission de

$$\frac{N}{4} \sum K (R - \rho)$$

particules α visibles par centimètre carré et par seconde.

K varie très peu d'un corps à l'autre de la série et nous
pouvons le considérer comme constant. Le nombre de parti-
cules α visibles émises par centimètre carré et par seconde
sera donc :

$$\frac{N}{4} K \sum (R - \rho)$$

($R - \rho$) étant la somme des longueurs $R - \rho$ étendue à tous les
corps d'une série.

Pour la série Uranium-Radium, on a, en tenant compte du
fait que $\rho \simeq 0,54$ cm.

$$\text{Uranium I} \quad N_{U I} = \frac{N_u}{4} K (2,69 - 0,54)$$

$$\text{Uranium II} \quad N_{U II} = \frac{N_u}{4} K (3,24 - 0,54)$$

$$\text{Ionium} \quad N_{Io} = \frac{N_u}{4} K (3,15 - 0,54)$$

$$\text{Radium} \quad N_{Ra} = \frac{N_u}{4} K (3,29 - 0,54)$$

$$\text{Radon} \quad N_{Rn} = \frac{N_u}{4} K (4,04 - 0,54)$$

$$\text{Radium A} \quad N_{RaA} = \frac{N_u}{4} K (4,64 - 0,54)$$

$$\text{Radium C'} \quad N_{RaC'} = \frac{N_u}{4} K (6,87 - 0,54)$$

$$\text{Radium F} \quad N_{RaF} = \frac{N_u}{4} K (3,84 - 0,54)$$

qui donne au total :

$$N_U = \frac{N_u}{4} K (31,75 - 8 \times 0,54) \simeq \frac{N_u}{4} K. 27,43.$$

N_U représente le nombre de particules α émises par cm^3 et par seconde par l'uranium. On sait que chaque gramme d'uranium émet $n_u = 4,19 \cdot 10^4$ rayons α par seconde. Si d est la densité du solide, 1 cm^3 pèse d grammes et 1 cm^3 d'uranium émet $d \cdot n_u$ particules par seconde. Si le corps radioactif con-

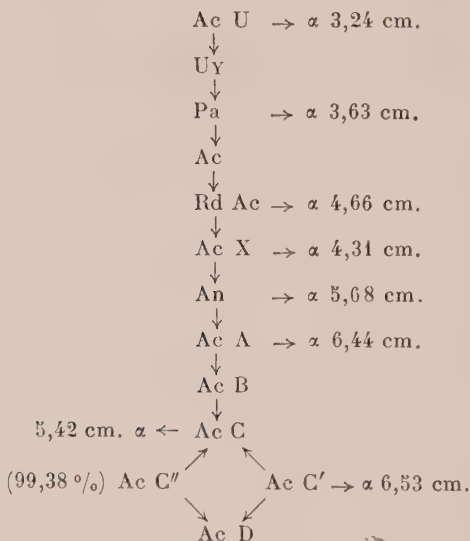


FIG. 5. — Famille radioactive de l'actinium.

tient une concentration en uranium égale à C_u il émet par cm^3

$$N_u = n_u \cdot d \cdot C_u, \text{ soit environ } N_u = 1,2 \cdot 10^4 \cdot d \cdot C_u.$$

Donc le nombre de particules α en provenance de la série de l'uranium, émis par le corps radioactif par cm^3 et par seconde, est :

$$N_u = \frac{1,2 \cdot 10^4}{4} d \cdot C_u \cdot K \cdot 27,43.$$

Pour la série de l'Actinium, on obtient :

$$\text{AcU} \quad N_{\text{AcU}} = \frac{N}{4} K (3,24 - 0,54)$$

$$\text{Ra} \quad N_{\text{Ra}} = \frac{N}{4} \text{ K } (3,63 - 0,54)$$

$$\text{RdAc} \quad N_{\text{RdAc}} = \frac{N}{4} \text{ K } (4,66 - 0,54)$$

$$\text{AcX} \quad N_{\text{AcX}} = \frac{N}{4} \text{ K } (4,31 - 0,54)$$

$$\text{An} \quad N_{\text{An}} = \frac{N}{4} \text{ K } (5,68 - 0,54)$$

$$\text{AcA} \quad N_{\text{AcA}} = \frac{N}{4} \text{ K } (6,44 - 0,54)$$

$$\text{AcC} \quad N_{\text{AcC}} = \frac{N}{4} \text{ K } (5,42 - 0,54)$$

soit au total :

$$N_{\text{Ac}} = \frac{N}{4} \text{ K } (33,38 - 3,78) = \frac{N}{4} \text{ K. } 29,60.$$

En tenant compte du rapport entre les concentrations en uranium et en actinium (4 % de ce dernier corps) et de la densité du corps, il s'établit qu'un minerai d'uranium émet par centimètre carré de surface libre et par seconde :

$$U = \left(\frac{1,2 \cdot 10^4}{4} d. C_u. \text{ K. } 27,43 \right) + \left(\frac{1,2 \cdot 10^4}{4} d. \frac{4 C_u}{100} \text{ K. } 27,60 \right)$$

soit

$N_U = 0,3 \cdot 10^4 \cdot d. C_u. \text{ K. } 28,6$

Pour la série du Thorium, on a :

$$\text{Th} \quad N_{\text{Th}} = \frac{N}{4} \text{ K } (2,84 - 0,54)$$

$$\text{RdTh} \quad N_{\text{RdTh}} = \frac{N}{4} \text{ K } (3,96 - 0,54)$$

$$\text{Th X} \quad N_{\text{Thx}} = \frac{N}{4} \text{ K } (4,26 - 0,54)$$

$$\text{Tn} \quad N_{\text{Tn}} = \frac{N}{4} \text{ K } (4,99 - 0,54)$$

$$\text{Th A} \quad N_{\text{ThA}} = \frac{N}{4} \text{ K } (5,62 - 0,54)$$

$$\text{Th } C'' \quad N_{\text{Th}C''} = \frac{N}{4} K (4,71 - 0,54). \quad 0,35$$

$$\text{Th } C' \quad N_{\text{Th}C'} = \frac{N}{4} K (8,62 - 0,54). \quad 0,65$$

soit au total :

$$N_{\text{Th}} = \frac{N}{4} K (23,91 - 3,24) = \frac{N}{4} K. 25,67.$$

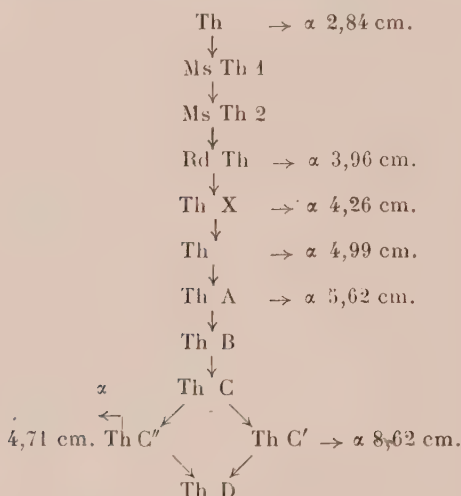


FIG. 6. — Famille radioactive du thorium.

N étant le nombre de rayons α émis par cm^3 de thorium et par seconde. Le thorium pur émet $0,3.10^4$ rayons par gramme et par seconde. Si d est la densité du corps et C_{Th} la concentration en thorium :

$$N_{\text{Th}} = 0,3. 10^4. d. C_{\text{Th}}$$

d'où le nombre de rayons α visibles émis par centimètre carré et par seconde :

$$N_{\text{Th}} = \frac{0,3. 10^4}{4} d. C_{\text{Th}}. \quad 25,67$$

§ 2. — Évaluation du coefficient d'absorption.

Soient R' et R les parcours d'un rayon α dans la roche considérée et dans la matière de comparaison (air), d' et d les densités de ces matières, A' et A les poids atomiques, le pouvoir d'arrêt atomique relatif est donné par

$$s = \frac{R}{R'} \cdot \frac{d}{d'} \cdot \frac{A'}{A}.$$

Le pouvoir d'arrêt d'une molécule s'obtient par addition des pouvoirs d'arrêt des atomes.

On en tire

$$k = \frac{R'}{R} = \frac{\frac{d}{A}}{\frac{d'}{A'} s}.$$

Pour l'air le poids spécifique à 0° est $1,29 \cdot 10^{-3} \text{ g/cm}^3$. Dans les conditions ordinaires (température voisine de 15°) $a = 22 \cdot 10^{-3} \text{ g/cm}^3$. En considérant l'air comme formé d'atomes poids atomique 14,4, on tire :

$$K = \frac{\frac{1,22 \cdot 10^{-3}}{14,4}}{\frac{d'}{A'} s} = \frac{0,85 \cdot 10^{-4}}{\frac{d' s}{A'}}.$$

Si dans 1 cm^3 de matière examinée, il y a une concentration d'un corps de poids atomique A_1 et de pouvoir d'arrêt s_1 , la concentration C_2 d'un corps de poids atomique A_2 et pouvoir d'arrêt $s_2 \dots$, etc., on aura :

$$K = \frac{0,85 \cdot 10^{-4}}{d' \sum \frac{C_i s_i}{A_i}}.$$

D'après Bragg et Kleeman, s est proportionnel à \sqrt{A} , mais cette loi n'est qu'une loi approchée, aussi préfère-t-on déterminer le pouvoir absorbant de chaque atome par des méthodes expérimentales.

En résumé, un corps qui ne contient que de l'uranium émet par seconde et par cm² :

$$N_U = 8,58. 10^4 \cdot d \cdot C_u \frac{0,85. 10^{-4}}{d \sum \frac{C_s}{A}}.$$

Un corps qui ne contient que du thorium émet par seconde et par cm² :

$$N_{Th} = 1,92. 10^4 \cdot d \cdot C_u \frac{0,85. 10^{-4}}{d \sum \frac{C_s}{A}}.$$

En posant $K' = \frac{0,85}{\sum \frac{C_s}{A}}$ il vient :

$$N_U = 8,58 C_u K'$$

$$N_{Th} = 1,92 C_{Th} K'$$

Si le corps contient à la fois de l'uranium et du thorium, il y aura par cm² et par seconde, émission de

$$N = (8,58 C_u + 1,92 C_{Th}) K'$$

§ 3. — Évaluation du rapport des concentrations en thorium et en uranium.

Si le corps considéré contient à la fois du thorium et de l'uranium, les rayons les plus longs émis par ce corps sont ceux du thorium C' (8,57 cm.), du radium C (6,91 cm.), de l'actinium A (6,47 cm.) et du thorium A (5,64 cm.).

Nous avons vu que le nombre des rayons α qui ont dans l'air après leur sortie de l'émetteur un parcours égal à ρ et qui sont émis par cm² et par seconde est :

$$n = \frac{N}{4} K (R - \rho).$$

Les rayons qui ont dans l'air un parcours supérieur à 7 cm. ont certainement ceux du thorium C'. Leur nombre est :

$$= 0,65 \frac{N_{Th}}{4} K (8,57 - 7) = 0,65 \frac{N_{Th}}{4} K. 1,57 = 0,25 N_{Th} K.$$

Ceux dont les parcours dans l'air sont compris entre 5,8 cm. et 7 cm. sont soit ceux du thorium C' qui ont été partiellement absorbés par le corps avant leur entrée dans l'émulsion, soit ceux du radium C' ou de l'actinium A.

Leur nombre est v_2 tel que :

$$v_2 = 0,65 \frac{N_{Th}}{4} K (8,57 - 5,8) + \frac{N_U}{4} K (6,91 - 5,8) + \frac{N_U}{4} K \frac{4}{100} (6,46 - 5,8)$$

où :

$$= (0,65 \frac{N_{Th}}{4} K. 1,2) + \left(\frac{N_U}{4} K. 1,1 \right) + \frac{N_U}{4} K. 0,03 = \frac{K}{4} (0,78 N_{Th} + 1,14 N_U)$$

où

$$\frac{v_2}{v_1} = 0,8 + 1,1 \frac{N_U}{N_{Th}} = 0,8 + 3,3 \frac{C_U}{C_{Th}}$$

finalement :

$\frac{C_{Th}}{C_U} = \frac{3,3}{\frac{v_2}{v_1} - 0,8}$
--

La mesure ne pourra donner de résultats acceptables que lorsque le nombre de trajectoires sera suffisamment grand, car on ne tient compte que des trajectoires les plus longues. On pourra dans certains cas se contenter de mesurer les trajectoires émises parallèlement à la surface de l'émulsion. Plus souvent il sera nécessaire de mesurer celles qui font avec cette surface un angle plus petit qu'une limite donnée. Il est évident que le résultat n'en sera pas modifié, mais certaines précautions devront être prises pour évaluer la longueur des trajectoires obliques.

CHAPITRE II

EXPÉRIENCES PRÉLIMINAIRES

§ 4. — Méthode générale.

Avant d'étudier la radioactivité des roches, nous avons voulu nous rendre compte de la valeur de la méthode et de la meilleure technique à suivre. Quelques expériences ont été conduites dans ce but.

Comme nous avons l'intention d'utiliser des corps pulvérisés, il nous a fallu voir si la grosseur des grains n'avait pas d'influence sur le nombre des particules α comptées. Ensuite, il était intéressant de vérifier si ce nombre était proportionnel au temps. Enfin, nous devions comparer nos mesures à celles fournies par d'autres méthodes.

Ces premières expériences ont été faites avec des plaques Ilford, Concentrated half-tone type B, 20 p. et 40 p.

Au début, nous posions la plaque sur la matière pulvérisée répartie en une couche à peu près uniforme et nous la pressions avec un poids de l'ordre de 50 à 100 grammes. Avec cette façon d'agir, de nombreux grains de matière adhéraient à l'émulsion et gênaient considérablement l'observation. Un lavage à l'eau courante ne réussissait pas à les enlever et une légère friction avec un coton humide avait l'inconvénient de rayer la gélatine. Pour éviter ces ennuis, il nous a semblé préférable d'agir ainsi : le minéral pulvérisé était projeté de façon aussi régulière que possible sur un carton enduit d'une mince couche de solution de gomme arabique. Celle-ci, en séchant, retenait les grains qui, de ce fait, ne se collaient plus à la couche sensible. Notons que les plaques récentes sont moins sensibles aux actions mécaniques et supportent très bien un lavage au coton humide, ce qui dispense de l'emploi d'un frottis.

Le développement s'est effectué, comme pour toutes les

expériences suivantes, à l'obscurité totale ou à la lumière rouge sombre avec le révélateur Ilford I-D 19. Le fixage s'est fait à l'hyposulfite de sodium.

Nous avons généralement utilisé, pour ces expériences préliminaires, des corps fortement radioactifs et les poses ont varié de quelques minutes à quelques heures. La plaque une fois développée, nous avons compté le nombre de trajectoires visibles par champ de microscope. Nous avons établi une moyenne en examinant une centaine de champs pris au hasard. La répartition uniforme de la radioactivité des minéraux choisis nous a donné à peu près le même nombre de trajectoires dans chaque champ et la moyenne a pu s'établir dans de bonnes conditions. Très souvent en partant de cette valeur, nous avons déterminé le nombre N de rayons α émis par cm^2 et par seconde.

§ 5. — Influence de la grosseur des grains.

Comme nous n'avions pas à notre disposition de tamis convenables, nous avons séparé les poudres des minerais en deux parties par décantation : l'une formée de grains très gros, l'autre formée de grains très fins. Les poses faites pendant des temps égaux avec les différentes poudres ainsi obtenues ont donné les résultats suivants :

NATURE DU MINERAI	NOMBRE MOYEN DE TRAJECTOIRES PAR CHAMP		DIFFÉRENCES
	GROS GRAINS	GRAINS FINS	
Oxyde d'urane	35,5	38,5	+ 8 %
—	32,27	32,07	— 0,6 %
—	49,08	50,60	+ 2 %
Pechblende Congo.....	12,50	12,40	— 0,8 %
Mineral non ident.....	28,12	27,66	— 1,5 %

Les résultats semblent donc montrer que la grosseur des grains n'a aucune influence ou, du moins, si elle existe, elle est inférieure aux erreurs statistiques de la numération.

§ 6. — Influence du temps de pose.

Nous avons impressionné deux séries de plaques, l'une avec de la pechblende du Congo, l'autre avec un minerai faiblement radioactif en posant des temps variables t . Nous avons ensuite évalué comme précédemment le nombre moyen n de trajectoires visibles par champ, puis nous avons établi le rapport n/t . Les résultats sont consignés dans les 2 tableaux suivants.

I. — *Pechblende du Congo.*

TEMPS DE POSE t (EN MINUTES)	NOMBRE MOYEN DE TRAJECTOIRES VISIBLES PAR CHAMP n	$\frac{n}{t}$	ÉCARTS PAR RAPPORT A LA MOYENNE
1.....	6,1	6,1	5,2 %
2.....	12,4	6,2	1,6 %
3.....	18,8	6,27	0,5 %
4.....	26,4	6,60	4,8 %
5.....	32,2	6,4	1,6 %
7.....	44,0	6,3	0 %
8.....	49,6	6,2	1,6 %
9.....	55,0	6,1	3,2 %
10.....	64,0	6,4	1,5 %
Moyenne de n/t 6,3			

II. — *Minerai peu actif.*

t (EN HEURES)	n	$\frac{n}{t}$	ÉCARTS
20.....	5,38	0,269	0,4 %
48.....	13,08	0,272	1,3 %
72.....	19,14	0,265	0,8 %
Moyenne de n/t 0,269			

On voit, d'après ces résultats que le nombre de rayons α inscrits sur la plaque est proportionnel au temps. Nous

evions, par des expériences ultérieures, constater que cela est vrai que lorsque la durée de pose n'excède pas une certaine valeur variable d'ailleurs avec les conditions de conservation des plaques et de la nature de l'émulsion.

§ 7. — Influence de l'activité du minéral.

Nous avons obtenu, à l'Institut du Radium, une série de minerais d'activités diverses. Ces minerais ne sont pas purs. Lorsque nous écrivons par exemple Carnotite, il ne s'agit pas d'une carnotite pure mais d'un minéral brut contenant une quantité plus ou moins grande de carnotite. Ces activités ont été mesurées par rapport à l'étalon d'oxyde d'urane par la méthode d'ionisation. Les formules d'Evans montrent que si ρ est petit par rapport aux parcours, le rapport des activités mesurées par numération est sensiblement égal au rapport des activités mesurées par ionisation. Nous avons voulu vérifier ce fait. Pour cela, nous avons déterminé par la méthode habituelle le nombre n de trajectoires données par champ et par minute par tous les corps à étudier, y compris l'oxyde d'urane. Ce dernier donne par champ et par minute 66 trajectoires. Le rapport $n/0,86$ doit correspondre à l'activité mesurée par rapport à l'étalon d'oxyde d'urane. Le tableau suivant (p. 236), permet de comparer les résultats obtenus par les deux méthodes.

Les résultats obtenus montrent que la numération des ions α par la plaque photographique permet d'évaluer l'activité d'un minéral avec une précision moyenne de l'ordre de 1 %.

Cependant, dans le tableau précédent, les résultats ont été classés par ordre d'activités décroissantes et il est facile de constater que l'erreur commise augmente en général lorsque l'activité diminue, c'est-à-dire lorsque le temps de pose augmente. On peut aussi remarquer que l'activité calculée est presque toujours inférieure à l'activité mesurée.

Ceci, ajouté à d'autres observations personnelles et à celles d'autres auteurs, nous a amené à conclure que lorsque le temps

de pose est assez long le nombre des trajectoires visibles n'est plus exactement proportionnel au temps. L'image latente produite par un rayon α ne dure qu'un certain temps et si le développement tarde trop, certaines trajectoires ne peuvent être enregistrées. C'est le phénomène auquel on devait donner le nom de « fading », et que nous étudierons dans le chapitre IV.

NATURE DU CORPS	NOMBRE DE RAYONS VISIBLES PAR CHAMP ET PAR MINUTE	ACTIVITÉ PAR RAPPORT A L'ÉTALON D'OXYDE D'URANE		ÉCART %
		CALCULÉE	MESURÉE	
Oxyde d'urane	0,86			
Pechblende Congo...	4,02	4,67	4,54	+ 3
Non identifié.....	3,33	4,10	4,34	— 6
Pechbl. Cornouailles.	2,74	3,18	2,95	+ 8
Carnotite.....	0,988	1,14	1,19	— 4
Non identifié.....	1,06	1,24	1,43	— 3
—	1,11	1,30	1,34	— 13
—	0,75	0,87	0,87	0
Autunite Tonkin....	0,57	0,66	0,65	+ 1,5
Thorite.....	0,50	0,58	0,65	— 5
Carnotite Colorado..	0,38	0,44	0,51	— 12
Pechblende Portugal.	0,35	0,40	0,46	— 14
Non identifié.....	0,28	0,33	0,39	— 17
—	0,24	0,28	0,31	— 9
—	0,20	0,23	0,23	0
—	0,11	0,13	0,15	— 13
—	0,0044	0,00031	0,006	— 15
—	0,0008	0,00093	0,001	— 7
—	0,00 4	0,00047	0,0006	— 21

Pour cette raison, les premiers essais d'étude de radioactivité des roches ont complètement échoué. Plusieurs plaques posées pendant plus de 3 mois sur des granites et des granulites dont les teneurs en uranium et en thorium sont de l'ordre de $C_U = 10^{-5}$ et $C_{Th} = 3.10^{-5}$ devaient, après développement, montrer environ de 5 à 10 trajectoires de rayons α par champ. Or l'examen des émulsions développées n'a permis de voir que quelques traces isolées.

CHAPITRE III

ÉVALUATION DE LA TENEUR EN URANIUM ET EN THORIUM DE QUELQUES MINÉRAIS.

INFLUENCE DE CETTE TENEUR SUR L'ABSORPTION

§ 8. — Détermination du coefficient d'absorption.

Pour évaluer la teneur d'un corps radioactif en uranium ou en thorium, il suffit en principe de déterminer le nombre N de trajectoires visibles émises par centimètre carré et par seconde et d'appliquer les formules établies précédemment au chapitre I :

$N = 8,58 C_U K'$ si le corps ne contient que de l'uranium.

$N = 1,92 C_{Th} K'$ si le corps ne contient que du thorium.

$N = (8,58 C_U + 1,92 C_{Th}) K'$ s'il contient à la fois de l'uranium et du thorium.

Mais une difficulté se présente, car on ne connaît pas en général la valeur du coefficient

$$K' = \frac{0,85}{\sum \frac{C_s}{A}}$$

qui dépend de la concentration.

Il nous a semblé convenable d'opérer de la façon suivante :

1° nous avons déterminé approximativement le coefficient K' en fonction de la teneur en uranium ou en thorium supposant le corps composé uniquement d'oxyde des métaux radioactifs et de silice.

2° Nous avons évalué ensuite les produits $C_U K'$ et $C_{Th} K'$ à ces concentrations et des coefficients d'absorption et nous avons tracé les courbes donnant C_U en fonction de $C_U K'$ et C_{Th} en fonction de $C_{Th} K'$.

3° Les équations citées au début de ce chapitre permettent de calculer

$$C_U K' = \frac{N}{8,58} \text{ et } C_{Th} K' = \frac{N}{1,92}$$

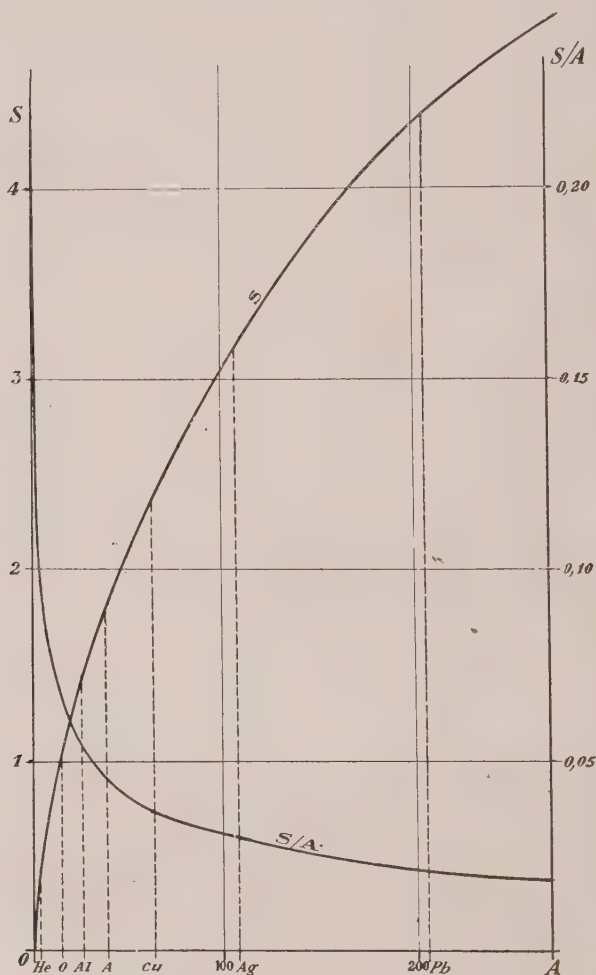


FIG. 7. — Graphique permettant l'évaluation du coefficient d'absorption $K' = 0,85/\Sigma cs/A$. Une courbe donne le pouvoir d'arrêt S en fonction du poids atomique A à partir de quelques résultats expérimentaux. Une deuxième courbe donne les variations du rapport S/A en fonction de A .

les valeurs ainsi obtenues donnent par lecture du graphique les concentrations en uranium et en thorium.

Le calcul de
$$K' = \frac{0,85}{\Sigma \frac{C}{A} s}$$

est effectuée assez rapidement quand on connaît N.

Nous avons vu que d'après Bragg et Kleemann s est proportionnel à \sqrt{A} mais qu'on préférerait utiliser quelques valeurs expérimentales du pouvoir absorbant. Partant de ces valeurs nous avons tracé une courbe donnant s en fonction de A . Sur le même graphique (fig. 7) nous avons dessiné la courbe de $\frac{s}{A}$ en fonction de A , courbe qui simplifie considérablement les calculs.

Pour la construction de ces graphiques nous avons adopté les valeurs suivantes :

CORPS	A	s	s/A	CORPS	A	s	s/A
H.....	1	0,22	0,22	A.....	40	1,90	0,0475
He.....	4	0,35	0,087	Cu....	64	2,3	0,036
O.....	16	1,06	0,066	Ag....	108	3,2	0,030
Al.....	27	1,45	0,036	Pb....	207	4,4	0,021

Il est bien évident qu'en assimilant un minerai quelconque à un mélange d'oxyde d'uranium ou de thorium et de silice, on commet une erreur, car c'est rarement là la composition réelle d'un tel minerai. Cependant, en comparant les résultats ainsi trouvés à ceux obtenus en tenant compte de l'analyse exacte, nous n'avons constaté que des écarts de l'ordre de quelques centièmes sur le coefficient K' .

Aussi une pechblende de Saint-Joachimsthal a (en négligeant les éléments Bi, Zn, Mn, Mg, K... qui n'entrent dans la constitution du minerai que dans des proportions de quelques millièmes), la composition suivante :

U	64,7 %	Ca.....	2,2 %
Fe.....	2,8 %	K	0,4 %
Si	2,5 %	S	1 %
Pb.....	4,5 %	Na.....	0,5 %
O 21,4 %			

et le calcul donne $K' = 26,4$.

En considérant ce corps formé de 65 % d'uranium et de 35 % de silice, on arrive à $K' = 25,9$, d'où une différence de 2 %. Nous serons conduits, par la suite, à faire sur K' des approximations bien plus grandes et nous pouvons admettre que nos calculs donnent des résultats assez proches de la réalité. Nous les donnons ci-après :

CONCENTRA- TIONS EN U OU EN Th	CORPS NE CONTENANT QUE DE L'URANIUM		CORPS NE CONTENANT QUE DU THORIUM	
	K'	$C_U K'$	K'	$C_{Th} K'$
0	14,1	0	14,1	0
0,1			15,1	1,51
0,2			16,5	3,26
0,25	16,9	4,2		
0,30			17,6	5,28
0,35	17,2	6,23		
0,40			19,2	7,68
0,50	21,4	10,9	21,0	10,5
0,60	23,4	14,04	23,4	14,04
0,65	24,9	16,18		
0,70	26,4	18,5	26,2	18,41
0,76	28,6	21,73		
0,80	30,5	24,7	29,9	23,92
0,84	31,6	26,7		
0,88			33,6	29,52

L'uranium et le thorium ayant des poids atomiques voisins, les courbes relatives à ces deux métaux se confondent presque et, étant données les erreurs commises par ailleurs, une courbe commune intermédiaire peut servir à déterminer à la fois les concentrations en uranium et en thorium (fig. 8).

Elle pourra même être utilisée dans le cas où le corps contient à la fois de l'uranium et du thorium.

En ce cas, on a :

$$(8,53 C_U + 1,92 C_{Th}) K' = N.$$

Si on a évalué le rapport $\frac{C_{Th}}{C_U} = m$, il vient

$$(1) \quad (8,58 + 1,92 m) C_U K' = N$$

mais le coefficient K' doit être déterminé non en fonction de la concentration en uranium seulement, mais en fonction de

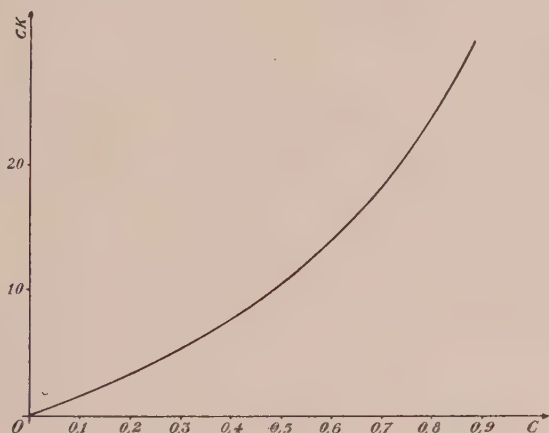


fig. 8. — L'évaluation expérimentale du nombre N de rayons α émis par centimètre carré et par seconde ne permet pas le calcul de la concentration C en uranium ou en thorium lorsque cette concentration est supérieure à quelques unités pour cent. Il intervient en effet dans ce calcul le coefficient d'absorption K' qui varie avec la concentration. Le graphique ci-dessus représente les variations du produit CK' en fonction de C . CK' peut être évalué directement à partir de N .

La somme des concentrations en uranium et en thorium soit :

$$C_U + C_{Th} = (1 + m) C_U = C.$$

Or d'après (1)

$$C_U K' = \frac{N}{8,58 + 1,92 m}$$

où CK' :

$$C K' = \frac{N (1 + m)}{8,58 + 1,92 m}.$$

Cette valeur de CK' permet d'obtenir, par le graphique précédent la valeur de C . Il suffit de diviser cette valeur par $1 + m$ pour avoir C_U et on obtient aussitôt $C_{Th} = m C_U$.

Si le corps est peu radioactif, cette méthode ne peut donner que des résultats d'une précision limitée. Si la proportion d'uranium et de thorium est faible (moins de quelques centièmes par exemple) et si l'on connaît par ailleurs la composition du minerai, il sera toujours préférable de déterminer aussi exactement que possible le coefficient K' . C'est ainsi qu'un granite qui possède un coefficient K' calculé égal à 12,7 ne doit pas être confondu, comme nous le ferions en adoptant les résultats précédents, avec la silice dont le coefficient K' est de 14,1. L'erreur, en ce cas, atteint 10 %.

§ 9. — Teneur en uranium ou en thorium de quelques minerais.

Teneur en uranium d'une pechblende.

Pratiquement une pechblende ne contient que de l'uranium sans thorium ($C_{Th}/C_U \simeq 10^{-5}$). L'examen des plaques impressionnées par une pechblende donne en 1 minute une moyenne de 4,02 trajectoires par champ de microscope de 0,080 cm² d'où $N = 83,75$.

On tire de ce résultat :

$$8,58 C_U K' = 83,75 \quad \text{d'où} \quad C_U K' = 9,76.$$

Le graphique donne immédiatement

$$C_U \simeq 48 \, \%.$$

Teneur en uranium d'une carnotite.

Ce minerai ne contient que de l'uranium. L'étude des émulsions conduit à évaluer $N = 21$.

$$\text{Il vient} \quad C_U K' = \frac{21}{8,58} = 2,45$$

$$\text{ce qui donne} \quad C_U \simeq 23 \, \%.$$

Teneur en thorium d'une thorite.

On trouve $N = 10,5$ donc $1,92 C_{Th} K' = 10,5$

où $C_{Th} K' = \frac{10,5}{1,92} = 5,46$

qui conduit à $C_{Th} \simeq 22 \%$.

Examen d'un sable de Itabapoana.

(État de Rio de Janeiro. Brésil.)

On trouve en 40 heures une moyenne de 225 trajectoires par champ de microscope ($0,080 \text{ mm}^2$), ce qui donne par centimètre carré et par seconde une émission de $N \simeq 1,90$ rayon. La mesure des longueurs des trajectoires des rayons émis entre l'existence d'un grand nombre de rayons provenant de thorium C' . On compte 112 trajectoires de plus de 7 cm. et 91 comprises entre 8 et 7 cm., ce qui permet de calculer le rapport des concentrations en thorium et en uranium.

On trouve $\frac{C_{Th}}{C_U} = \frac{85,3}{\frac{v_2}{v_1} = 0,8} \simeq 275$.

On peut donc admettre que le corps examiné ne contient pas de thorium. S'il renferme de l'uranium, celui-ci s'y trouve en très faible proportion.

On a donc $C_{Th} K' = \frac{1,90}{1,92} \simeq 1$

où, par examen du graphique :

$$C_{Th} \simeq 6,5 \%$$

CHAPITRE IV

ÉTUDE DE LA DISPARITION DE L'IMAGE LATENTE DANS LA PHOTOGRAPHIE DES TRAJECTOIRES DES RAYONS α

§ 10. — Méthode d'évaluation de la vitesse de disparition.

Les expériences précédentes ayant mis en évidence le fait que l'image latente des trajectoires des rayons disparaissait lorsque le développement n'avait pas lieu dans un délai de quelques jours, ce qui rendait impossible l'étude des très faibles radioactivités par la plaque photographique, nous avons voulu étudier systématiquement cette disparition et rechercher les moyens d'y remédier.

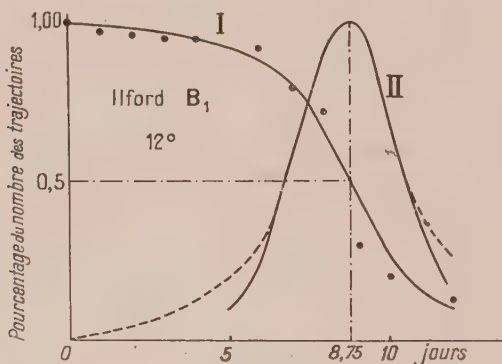


FIG. 9. — Étude du « fading » des plaques Ilford B₁.

Courbe I : pourcentage du nombre de trajectoires visibles en fonction du temps qui sépare le développement de l'exposition.

Courbe II : nombre de trajectoires d'une durée comprise entre $t - \Delta t$ et $t + \Delta t$.
 Courbe du type de Gauss avec maximum marqué pour $T = 8,75$ jours.

Ce phénomène a été remarqué la première fois par Blau et Wanbacher et il a été examiné par différents auteurs (6), Yagoda et Kaplan (7) ont étudié la variation de la densité photographique. M^{me} Faraggi et M^{lle} Albouy (8) ont mesuré la

disparition des grains. Pour nous rendre compte de la vitesse de cet effacement, nous avons évalué la diminution du nombre des trajectoires visibles en fonction du temps qui s'écoule entre l'impression et le développement.

Des plaques sensibles (Ilford C_1 et C_2) ont été exposées au bombardement d'une matière radioactive (pechblende pulvérisée ou dépôt électrolytique de polonium). L'une d'elle est développée immédiatement, les autres, conservées dans des conditions définies, ne le sont qu'après un délai variable. Les développements se font dans des conditions identiques.

En observant les plaques avec un microscope de faible grossissement (200 à 300), on compte le nombre moyen de trajectoires visibles par champ. 100 examens, parfois 200, 300 ou même 500) permettent d'établir, pour chaque plaque, la moyenne des trajectoires visibles inscrites sur une surface donnée.

§ 11. — Résultats.

Les résultats sont consignés dans les tableaux ci-après :

I. — Plaque Ilford B_1 :

Retard dans le développement (en jours)	Nombre moyen de trajectoires par champ de microscope	Pourcentage
<i>r</i>	<i>n</i>	
immédiat	5,62	100
1	5,54	98,5
2	3,50	98
3	5,50	98
4	3,47	97,3
6	5,11	91
7	4,42	78,7
8	4,05	72
9	1,66	30
10	1,11	20
12	0,80	14

II. — Plaques Ilford C₂ :

1° Pression normale. Humidité atmosphérique normale.
Température 17 à 18°.

(en jours)

<i>r</i>	<i>n</i>	%
0.....	5,33	100
4.....	5,00	94
7.....	4,68	88
10.....	3,45	65
11.....	3,30	62
12.....	2,56	48
13.....	2,30	43
14.....	1,87	35
15.....	1,11	21
17.....	0,49	9,2

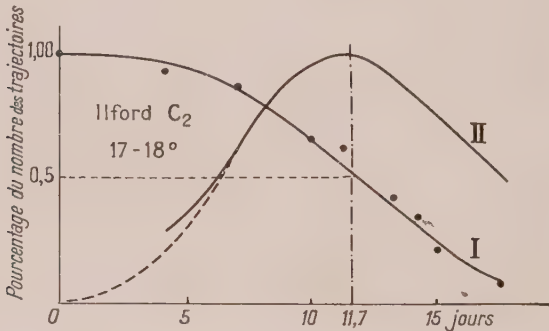


FIG. 10. — Études du « fading » des plaques Ilford C2. Mêmes types de courbes que pour les plaques B1 (fig. 9). La durée la plus probable est de 11,7 jours.

2° Pression normale. Plaques conservées au-dessus d'une nappe d'eau. Température 14 à 15°.

(en jours)

<i>r</i>	<i>n</i>	%
0.....	16,00	100
1.....	16,02	100
2.....	15,56	97
3.....	13,41	83,6
4.....	10,80	67,5
5.....	9,75	61
6.....	5,10	32
7.....	1,93	12

3° Pression réduite. Température 14 à 15°. Atmosphère humide (trompe à eau).

(en jours)	<i>r</i>	<i>n</i>	%
0.....		16,00	100
1.....		14,86	93
2.....		7,17	45
3.....		5,2	32,5
4.....		1,87	11,7

4° Pression normale. Température 14 à 15°. Humidité atmosphérique.

Nous avons fait 2 séries d'expériences :

série a : plaques exposées à une source de polonium,

série b : plaques exposées au rayonnement de la pechblende.

série a :

(en jours)	<i>r</i>	<i>n</i>	%
0.....		6,24	100
1.....		6,64	106
2.....		6,08	97
3.....		6,13	98
4.....		3,70	91
5.....		6,15	98
6.....		6,00	96
7.....		5,85	93,6
9.....		5,65	90

série b :

(en jours)	<i>r</i>	<i>n</i>	%
0.....		2,35	100
1.....		2,21	95
2.....		2,26	97,2
3.....		2,36	100
4.....		2,38	100
5.....		2,10	90
6.....		2,22	95,5

(en jours)	r	n	%
7.....		2,18	93,75
8.....		2,11	90
9.....		2,07	89
10.....		1,80	77,4
11.....		1,86	80
12.....		1,85	79

Le nombre insuffisant des plaques ne nous a pas permis des délais plus longs.

5° *Température 46 à 50° Vapeur saturante.*

(en minutes)	r	n	%
0.....		3,15	100
5.....		3,10	100
10.....		2,63	83,5
15.....		2,37	75,45
20.....		1,19	38

6° *Température 46 à 50°. Humidité atmosphérique.*

(en heures)	r	n	%
0.....		3,15	100
1.....		3,22	102,5
2.....		2,91	92,5
3.....		3,00	95
3,30.....		2,80	89
4.....		2,83	90
4,30.....		2,75	87,5
5,30.....		2,96	94
6.....		2,71	86
6,30.....		2,67	85
7.....		2,70	85,5
7,30.....		2,30	73
8.....		1,89	60
9.....		2,03	65,2
10.....		1,30	47,5

L'étude de ces résultats permet de tirer les conclusions suivantes :

1° On constate que le nombre des trajectoires visibles reste pratiquement constant pendant un certain temps variable avec la méthode de conservation, puis décroît plus rapidement pour tendre ensuite lentement vers zéro.

En portant en ordonnée le pourcentage du nombre des trajectoires visibles et en abscisse le temps qui sépare l'exposition du développement, on peut tracer les courbes I. Ces courbes donnent le pourcentage des trajectoires ayant une durée supérieure à t .

2° En partant de ces courbes I, il est possible de déterminer les courbes II qui donnent le nombre des trajectoires d'une durée comprise entre $t - \Delta t$ et $t + \Delta t$.

Ces courbes sont du *type de Gauss*. Elles présentent un maximum marqué pour un temps T qui est la durée la plus probable d'une trajectoire. Pour un temps t , l'écart par rapport à T est $(t-T)$ et les courbes précédentes sont assez bien représentées par une équation de la forme :

$$n = K e^{-\frac{(t-T)^2}{\rho}}$$

où pour des écarts trop grands. K et ρ sont des constantes. n représente par exemple le nombre de trajectoires qui disparaît pendant l'unité de temps au voisinage de la durée probable.

K peut se mettre sous la forme $K = \frac{k}{\rho \sqrt{\pi}}$.

Sur les figures, les courbes en pointillé représentent les courbes de probabilité qui s'écartent des courbes expérimentales.

La courbe de Gauss étant entièrement définie lorsqu'on connaît sa moyenne T et son écart quadratique moyen (qui dépend de ρ), les 2 nombres T et ρ suffisent pour construire les courbes I et II. Ils dépendent de la nature des plaques, du moyen de conservation et permettent de caractériser une expérience.

Les résultats mentionnés précédemment sont indiqués sur les graphiques et résumés dans le tableau suivant :

NATURE DES PLAQUES	MÉTHODE DE CONSERVATION	DURÉE PROBABLE T	MODULE $\frac{1}{\phi}$	T $\frac{1}{\phi}$	FIGURE
Ilford B ₁ ...	Pression normale, 42° humidité atmosphérique	8,75 j	2,3	3,8	4
Ilford C ₂ ...	» 47-48° » (avril)	11,70 j	7	1,68	2
»	» 17-18° » (juin)	13 j	8	1,62	3 A
»	» 14-15° »	16,5 j (extrapolation)	10	1,65	3 B
»	» 14-15° vapeur d'eau saturante	5 j	3	1,66	3 C
»	» 50° »	48,7 mn	12	1,56	3 D
»	» 50° humidité atmosphérique	10 h	6	1,66	3 E
					3 F

§ 12. — Influence de la nature de la plaque.

On voit que le « fading » est plus marqué avec les plaques C_2 qu'avec les plaques B_1 , à 12° la durée probable n'est que de 8,75 jours tandis qu'avec les plaques B_2 , malgré une température plus élevée, cette durée atteint 13,5 jours à $14-15^\circ$. Ces résultats sont en accord avec ceux d'autres auteurs. Occhialini et Powell, Yagoda (9), H. Faraggi et G. Albouy (10) signalent que le « fading » varie avec la nature des plaques employées.

Le rapport $\frac{T}{\rho}$ est constant pour un type de plaque donné.

Pour les Ilford C_2 , ce rapport $R = \frac{T}{\rho} = \frac{3}{5}$. La plaque peut donc être caractérisée par le rapport R et les conditions d'exposition par la durée probable T . Ces 2 nombres suffisent pour déterminer les courbes II donnant le nombre de trajectoires ayant une durée comprise entre $t - \Delta t$ et $t + \Delta t$ et par suite les courbes I donnant le nombre de trajectoires d'une durée supérieure à t .

Remarquons encore que le produit KT est constant (K est le nombre de trajectoires qui disparaissent pendant l'unité de temps au voisinage de la durée probable).

$T = 100$. Or, nous avons posé $K = \frac{k}{\rho \sqrt{\pi}}$ donc pour les plaques Ilford C_2 :

$$\frac{k T}{\rho \sqrt{\pi}} = 100 \quad k = 100 \frac{\rho}{T} = 60 \sqrt{\pi}$$

à l'équation générale des courbes II des plaques Ilford C_2 .

$$n = \frac{60}{\rho} e^{-\frac{(t-T)^2}{\rho}}$$

Il résulte de ce qui précède qu'il devient très facile d'obtenir la courbe donnant le pourcentage des trajectoires d'une durée supérieure à t . En effet, toutes les courbes obtenues avec la même espèce de plaques peuvent se déduire les unes des

autres. Ayant tracé une courbe de durée probable T , on obtient celle de durée probable T' en multipliant les abscisses de la première par le rapport T/T' les ordonnées restant fixes. La première peut être obtenue rapidement par exemple en faisant

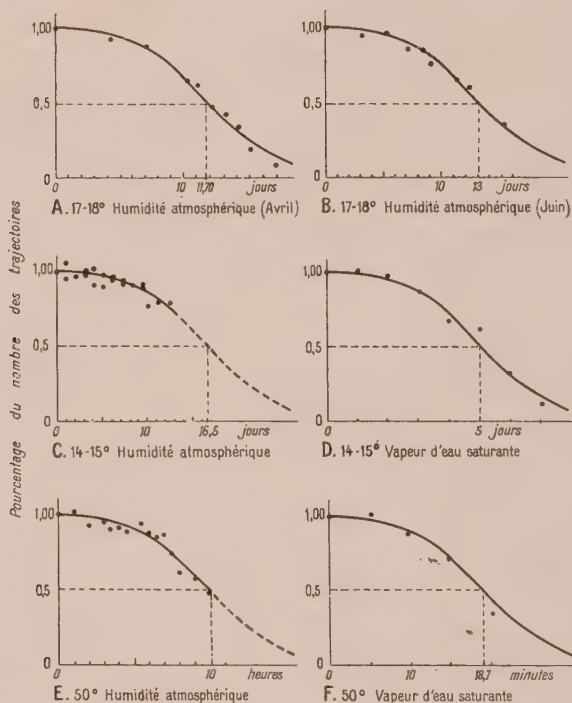


FIG. 11. — Influence des conditions de conservation sur le « fading ». Ensemble des courbes I (fig. 9) pour les plaques Ilford C_2 conservées dans des conditions différentes. On peut adopter une courbe type en modifiant convenablement l'échelle des temps.

l'étude d'une série de plaques maintenues à température élevée en atmosphère humide.

Il semble encore plus facile de construire une courbe-type et de graduer ensuite les abscisses en fonction de la durée probable.

C'est ainsi que nous avons construit les graphiques de la figure 11 relative au « fading » des plaques Ilford C_2 .

§ 13. — Influence de la température.

La durée probable diminue lorsque la température s'élève. Par exemple pour les plaques Ilford C₂, la durée probable qui est voisine de 16 jours à 14-15° tombe à 12 ou 13 jours vers 18°, pour ne pas dépasser 10 heures vers 50°. Divers auteurs avaient déjà mis ce fait en évidence, La Palme et Demers (7) signalent par exemple que l'effacement des grains est accéléré à 42° et devient négligeable à — 35°. H. Faraggi et G. Aubry (10) indiquent que la conservation des plaques en glace ralentit le « fading », mais que celui-ci peut être accéléré et qu'on peut obtenir l'effacement en 5 heures à 47° C.

§ 14. — Influence de l'humidité.

Perfilov (1) ayant obtenu des résultats appréciables en opérant dans le vide (70 jours de pose sans fading apparent) sous pression de 1 mm. de mercure), nous avons essayé de conserver des plaques sous pression réduite en opérant le vide avec une trompe à eau. L'effacement a été considérablement augmenté. Une contradiction si flagrante ne pouvait s'expliquer que par la présence de vapeur d'eau, ce qui nous a conduit à examiner son influence.

Celle-ci semble considérable. Elle est mise en évidence par la comparaison des courbes C et D (à 14°-15°) et des courbes E et F (à 50°).

Dans le premier cas, la durée probable qui est de l'ordre de 16,3 jours (par extrapolation) en atmosphère normale, est plus que de 5 jours en atmosphère avec vapeur d'eau saturante. A 50° la durée probable est réduite de 10 heures en atmosphère normale) à 18,7 minutes (en atmosphère saturée de vapeur d'eau).

Cette action de l'humidité devait être confirmée par des travaux d'autres auteurs (10).

Le climat peut donc avoir une grande influence. Les courbes A et B correspondant à la même température (17-18°), mais tracées l'une en avril (A), l'autre en juin (B) montrent

une légère différence de la durée probable. Nous avons pensé que celle-ci pouvait s'expliquer par l'état hygrométrique de l'air différent suivant les saisons et K. B. Mather (12) devait par la suite vérifier notre hypothèse.

§ 15. — **Influence du borate de sodium
sur la conservation de l'image latente.**

Il a été remarqué depuis longtemps que les émulsions photographiques imprégnées de bore conservaient les images latentes beaucoup plus longtemps que les émulsions ordinaires.

Nous avons essayé de nous rendre compte de l'importance de cette action et avons, dans ce but, entrepris une série d'expériences dont les résultats sont résumés ci-après.

Méthode. — Des séries de plaques Ilford C₂ ont été plongées pendant 15 minutes dans des solutions de borate de sodium cristallisé B₄O₇Na₂, 10H₂O de concentrations diverses, puis séchées. Elles ont été ensuite exposées au rayonnement d'une source radioactive (dépôt électrolytique de polonium), puis conservées pour être développées avec des retards croissants. Une série de plaques n'a pas été immergée dans une solution de borate et sert de témoin. L'examen au microscope (grossissement 200 ou 300) permet d'évaluer le nombre de trajectoires des particules α inscrites sur chaque plaque sur une surface donnée.

Le but recherché était la détermination de la durée probable de conservation d'une trajectoire pour chaque concentration. Il n'a pu être atteint pour toutes les séries pour les 3 raisons suivantes :

a) Le nombre des plaques exposées (une quinzaine environ pour chaque concentration) s'est révélé insuffisant.

b) L'observation est parfois devenue impossible par suite de l'apparition de trajectoires parasites dont le nombre croît avec le temps et dont l'origine nous est inconnue. Il est possible qu'au moment de la pose quelques grains radioactifs aient pu se coller à l'émulsion. Leur activité serait faible, car

Ille ne devient évidente qu'au bout de quelques semaines.

c) Enfin 2 séries de plaques se sont voilées progressivement. Ainsi les plaques immergées dans une solution de borate à 0 g/l, très claires jusqu'au 20^e jour, sont devenues peu à peu illisibles.

État de conservation de l'image latente après 45 jours d'attente.

Jusqu'au 45^e jour les mesures ont pu se faire correctement. Le tableau suivant donne le pourcentage du nombre des trajectoires en fonction de la concentration en borate :

Concentration										
en borate	0	5	10	30	40	50	60	70	80	100
(en g/l)										
Pourcent. du										
nombre des	0	91	104	101	100	105	93	84	66	10
traj. visibles										

Valeurs qui permettent de tracer le graphique de la fig. 12.

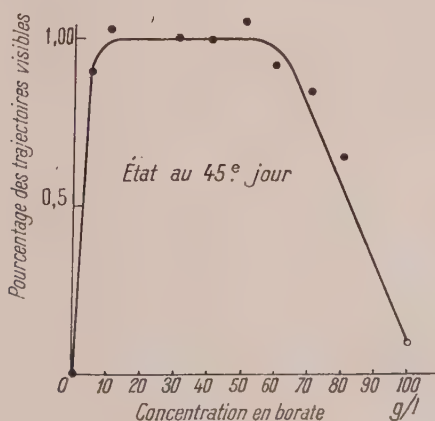


FIG. 12. — Plaques traitées au borate de sodium.

Pourcentage des trajectoires visibles ; après 45 jours de conservation, en fonction de la concentration en borate. Sur les plaques non traitées, toutes les trajectoires sont effacées. Sur celles qui ont été imprégnées d'une solution contenant de 10 à 60 g. de borate par litre, toutes les trajectoires se retrouvent.

Limites pratiques de la conservation du nombre initial de trajectoires.

Les fluctuations inévitables qui accompagnent l'évaluation du nombre des trajectoires (fluctuations dues à l'émission même, à la durée du temps de pose, aux erreurs statistiques de la numération, etc.) ne semblent jamais atteindre 10 pour cent.

Nous pouvons donc admettre que lorsque nous trouvons que la plaque ne porte plus que 90 % du nombre initial des trajectoires, la période de décroissance est atteinte.

Les résultats trouvés sont indiqués dans le tableau suivant :

Concentration en borate (en g/l)	}	0	5	10	30	50	70	80	90	100
Durée de la const. du nombre des traject. (en jours)		4	45	80	60	50	25	22	16	13

Les nombres *soulignés* sont obtenus avec une précision suffisante. Les autres sont douteux et ne donnent qu'un ordre de grandeur. On peut cependant affirmer que les plaques à 10 g/l présentent, au bout de 65 jours, la totalité de leurs trajectoires initiales et que les plaques à 30 g/l ne donnent plus le 20^e jour que 50 % environ de ces trajectoires.

La figure 13 représente les variations de la durée de la constance du nombre des trajectoires en fonctions de la concentration. Malgré l'incertitude de certains points (courbe en pointillé), il est évident qu'une solution de borate de concentration de l'ordre de 10 à 30 grammes par litre donne les meilleurs résultats. Notons à ce propos que Lattes, Occhialini et Powell (9) ont signalé que la charge en bore d'une émulsion avait une importante influence sur le « fading ».

On remarque d'autre part que le borate semble jouer le rôle de renforçateur, rôle qui devait être confirmé par la suite (44). Les trajectoires obtenues avec des plaques au borate

ont plus noires et plus épaisses que celles obtenues avec les plaques ordinaires. L'observation des plaques s'en trouve grandement facilitée.

Ces expériences ont été faites en Bretagne au bord de la mer (donc avec une humidité atmosphérique assez grande) et une température variant de 17 à 20° C.

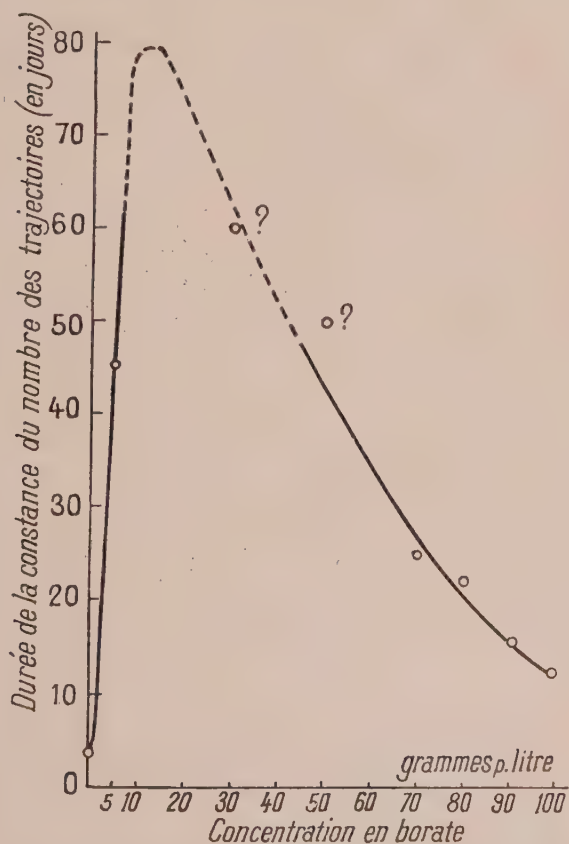
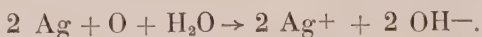


Fig. 13. — Durée approximative de la conservation des traces des trajectoires en fonction de la concentration en borate. Le maximum (ordre de 3 mois) est atteint pour une concentration d'environ 20 à 30 g/l.

§ 16. — Théorie de l'effacement.

Des recherches ultérieures faites par d'autres auteurs (13) confirment en les généralisant et en les interprétant les résultats expérimentaux exposés ci-dessus. On sait qu'une image latente est formée par la transformation d'un certain nombre d'ions Ag en atomes d'Ag (15). D'après H. Faraggi et G. Albouy l'effacement de l'image latente serait due à une oxydation par l'oxygène de l'air en présence de vapeur d'eau, l'argent déposé revenant à l'état d'ions suivant la réaction :



Cette oxydation est :

1° accélérée par la température, comme toutes les oxydations ;

2° accélérée par la présence de vapeur d'eau suivant l'équation précédente ;

3° ralentie par les corps donnant à la gélatine un pH élevé tel que le borate ($pH = 9.2$), le pH intervenant à la fois en favorisant la formation des germes et en ralentissant l'oxydation ;

4° nulle dans une atmosphère privée d'oxygène.

Notons que les nouvelles plaques Ilford C₂ (étiquettes jaunes) sont moins sensibles au fading que les précédentes. D'autre part, le fait de placer une roche polie sur une émulsion photographique comme nous le ferons souvent par la suite, prive celle-ci d'oxygène et ralentit l'effacement. Dans de telles conditions et d'après les résultats de nombreuses observations, nous avons jugé inutile de prendre des précautions spéciales lorsque la pose ne devait pas dépasser une semaine. Pour des poses plus longues nous avons toujours utilisé des plaques imprégnées de borate de sodium à 30 g/l.

ÉTUDE DE LA RADIOACTIVITÉ DES ROCHES

§ 17. — Exposé des buts recherchés.

Tous les terrains et toutes les roches contiennent des traces sensibles de matières radioactives. Les premiers résultats obtenus à ce sujet sont ceux de Elster et Geitel (16), qui ont montré que divers échantillons pris dans des terrains différents produisaient dans une chambre à ionisation une augmentation de la conductibilité de l'air variable avec la nature des terrains. Ces dosages ne peuvent s'effectuer par les méthodes chimiques ordinaires. Généralement on a cherché à extraire par une méthode chimique les éléments radioactifs contenus dans une quantité importante de roche examinée et à étudier ensuite le produit obtenu par une méthode radioactive. On a pu, par exemple, mesurer l'ionisation produite par les rayons α et compter ces rayons. On a cherché également à mesurer avec un compteur le rayonnement (17).

Ces méthodes ne peuvent évidemment donner qu'une teneur globale. Certains auteurs ont essayé d'étudier la répartition de la radioactivité dans les roches. Piggot (18), en isolant différents cristaux d'une roche et en les étudiant séparément, a vu que la radioactivité semblait se concentrer dans les micas. C. Goodman, Baranov et S. Kretschmer (19) ont préparé des émulsions photographiques bien inférieures aux émulsions actuelles et montré que la radioactivité était liée à des inclusions microscopiques. Enfin, rappelons que l'existence des halos pléochroïques dans certaines roches prouvait déjà l'existence de ces cristaux.

En essayant d'appliquer la méthode de la plaque photographique indiquée dans les chapitres précédents, à l'étude de la radioactivité des roches, nous poursuivions plusieurs buts :
1° mettre en évidence la radioactivité des roches par l'obtention de photographies des rayons α issus de ces roches ;
2° déterminer le rapport C_{Th}/C_U des concentrations en thorium et en uranium et déterminer la teneur globale de ces

minéraux en matières radioactives. Comparer les résultats obtenus à ceux d'autres auteurs ;

3° nous rendre compte de la répartition de cette radioactivité, en particulier voir si les matières radioactives sont régulièrement disséminées dans la roche ou concentrées en quelques points ;

4° en ce dernier cas, examiner les inclusions radioactives des minéraux étudiés et en particulier déterminer la nature des émissions et la concentration en uranium et en thorium.

Les plaques utilisées sont des plaques Ilford C₂ d'épaisseur 50 μ . Ces émulsions sont recouvertes d'une roche polie ou d'une roche pulvérisée. Les poses ont duré de quelques heures à quelques semaines.

Les plaques C₂ conservent beaucoup mieux les images latentes que celles utilisées précédemment. Cependant comme le climat humide de la Bretagne où ces expériences ont été faites favorise le « fading », nous avons préféré, avant l'utilisation et lorsque les poses devaient atteindre ou dépasser une semaine, les imprégner d'une solution de borate de sodium à 30 grammes par litre, puis les sécher.

Les roches ont été prélevées au hasard et, pour la plupart dans le sol breton. Il s'agit donc en général de granites, de granulites, de gneiss, de micaschistes et de schistes.

Confirmant les indications de Goodman, de Baranov et Kretschmer, les premiers examens des plaques montrent que la répartition des traces des particules α est loin d'être uniforme. Au contraire, celles-ci sont groupées autour de centres actifs plus ou moins importants dont nous entreprendrons l'étude dans les prochains chapitres et qui montrent que la radioactivité des roches est due à des inclusions noyées dans une masse inactive ou peu active.

Ces résultats furent confirmés par des travaux indépendants effectués à la même époque par différents auteurs (19 bis).

CHAPITRE V

RAPPORT DES CONCENTRATIONS EN THORIUM ET EN URANIUM

§ 18. — Mesure des longueurs des trajectoires.

Le rapport des concentrations en thorium et en uranium a été évalué d'après la méthode exposée au paragraphe 3. Les trajectoires ont été observées avec un microscope de fort grossissement (objectif à immersion). Le rapport K_1 entre les parcours des rayons α dans l'émulsion et dans l'air est $K_1 = \frac{68.700}{38}$. 1 cm. d'air correspondent donc à 39 μ , et 5,8 cm. à 32 μ . Avec l'objectif, l'oculaire et le micromètre employés, chaque division du micromètre correspond à 1,43 μ . 39 μ et 32 μ sont donc représentés par 27 et 22 divisions. Les trajectoires les plus longues (celles du ThC' qui n'ont subi aucune absorption) mesurent 48 μ , soit 34 divisions.

Nous avons donc mesuré les trajectoires ayant une longueur supérieure à 27 divisions et celles dont les longueurs sont comprises entre 22 et 27 divisions.

Les mesures de ces longueurs sont faites à 1/2 division près, soit 0,7 μ , ce qui correspond à 1,2 mm. d'air pour les trajectoires émises parallèlement à la surface de l'émulsion et à 7 mm. pour celles faisant un angle de 45° avec cette surface. Comme nous n'avons jamais mesuré de trajectoires émises avec une inclinaison supérieure à 45° nous pouvons admettre que les mesures sont faites à moins de 2 mm. près.

Nous avons pris soin de n'observer que les trajectoires émises à la surface de la plaque sensible ou légèrement au-dessus de cette surface; le sens des trajectoires se trouve facilement, car la fin du parcours est formée de grains serrés. Cela explique les quelques traces des rayons provenant d'impuretés retenues dans la gélatine et dans le verre. Notons d'ailleurs que ces traces sont rares et qu'avec une certaine habitude elles se distinguent facilement.

Généralement, nous n'avons tenu compte que des rayons α qui sont nets d'une extrémité à l'autre, sans changement de mise au point. Il s'agit là de rayons α émis parallèlement à la surface de l'émulsion ou faisant avec celle-ci un angle très petit que la latitude de mise au point permet d'évaluer à 2° . Cependant, dans certains cas, lorsque le nombre des trajectoires n'est pas assez grand pour permettre la mesure d'une quantité suffisante de rayons remplissant les conditions précédentes, nous avons dû évaluer les longueurs des trajectoires obliques. Il nous a fallu alors faire intervenir la variation d'épaisseur de l'émulsion après développement et séchage.

D'après les indications de la maison Ilford et d'après nos propres mesures, l'épaisseur de la courbe sensible pendant l'impression est de 50μ . Après développement et séchage elle n'atteint que 24μ . Mais l'observation des trajectoires se fait à travers la gélatine et les phénomènes de réfraction semblent produire un rapprochement qu'on ne peut négliger. L'épaisseur, en effet, ne paraît mesurer que 18μ . Il en résulte qu'au moment de l'examen d'une plaque une profondeur observée de x microns correspond en réalité, avant développement, à une profondeur de :

$$\frac{50}{18} x = 2,77 x \mu.$$

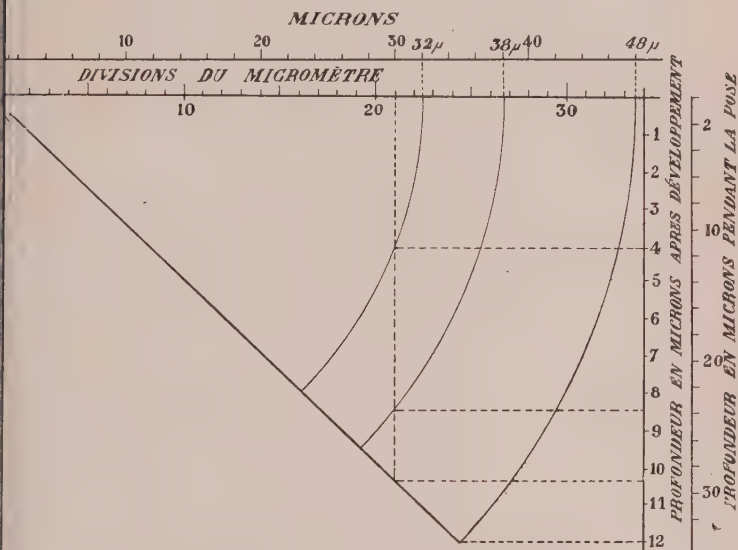
En mesurant alors la projection horizontale et la projection verticale d'une trajectoire, on peut donc aisément, par application du théorème de Pythagore, obtenir la longueur réelle avant développement.

A cause de l'imprécision des mesures très obliques, nous n'avons considéré que des rayons plongeant jusqu'à un angle déterminé. Cela ne change pas le rapport $\frac{v_2}{v_1}$.

Pour éviter les calculs, simples mais longs et fastidieux, nous avons utilisé une abaque représentée par la fig. 14 et correspondant à un angle limite déterminé. Elle donne rapidement la longueur d'une trajectoire avec une précision suffisante.

Avec la limite que nous nous sommes imposée, les trajec-

res les plus longues (48μ) s'enfoncent au maximum de μ dans l'émulsion développée et séchée, ce qui correspond une profondeur de $12 \times 2,77 = 33 \mu$ dans l'émulsion pendant l'impression. L'angle limite λ est donc tel que $\lambda = \frac{33}{48} = 0,68$, c'est-à-dire voisin de 45° .



14. — Abaque pour la détermination des longueurs des trajectoires obliques. Cette abaque tient compte de la variation d'épaisseur de l'émulsion soumise au développement et des phénomènes de réfraction. La mesure de la projection horizontale de la trajectoire et de la distance verticale apparente de ses deux extrémités permet l'évaluation de la longueur réelle avant développement.

L'axe horizontal représente la projection horizontale de la trajectoire, l'axe vertical la profondeur avant développement. Un et l'autre sont mesurés avec une unité commune. Cependant, pour permettre une lecture directe, l'axe horizontal est ensuite gradué en divisions du micromètre, et l'axe vertical en microns mais en tenant compte de la réduction d'épaisseur après développement. Des axes de cercles concentriques de rayons d'environ 22 et 27 divisions déterminent les longueurs limites des traces.

Celles-ci sont examinées en mettant successivement au point

leurs deux extrémités, en tournant la vis micrométrique toujours dans le même sens pour éviter les erreurs dues au jeu des crémaillères. Les 2 projections horizontale et verticale obtenues permettent par simple examen du graphique de classer la trajectoire. Ainsi une trajectoire d'une longueur apparente de 21 divisions de micromètre avait, au moment de son émission, une longueur comprise entre 5,8 et 7 cm. si la distance verticale de ses 2 extrémités varie entre 4 μ . et 8,5 μ . et plus grande que 7 cm. si cette distance varie de 8,5 à 10,5 μ . Si la profondeur dépasse 10,5 μ , la trajectoire ne doit pas être retenue, car son inclinaison est plus grande que la limite fixée.

Il est évident que cette limite est arbitraire. L'angle λ variera d'une mesure à l'autre et généralement en sens inverse du nombre de trajectoires observées. Si elles sont très nombreuses, et émises parallèlement à la surface de l'inclusion, on pourra se contenter d'un angle λ pratiquement nul. Au contraire, si leur nombre est restreint, ou si presque tous les rayons α sont plongeants, on devra augmenter l'angle λ . Nous ne conseillons cependant pas de dépasser 45° en raison de l'incertitude des mesures; quelle que soit l'inclinaison limite l'abaque précédente peut être utilisée, il suffit de déterminer à l'avance l'angle maximum adopté.

§ 19. — Résultats.

Les résultats que nous avons obtenus sont consignés dans le tableau suivant :

Nature et origine de la roche	C _{Tb} /C _u
Micaschiste. Quiberon (Morbihan).....	5,4
Micaschistes. Arradon (Morbihan).....	2,5
Gneiss granulitique. Le Rennaveau-en-Vannes (Morbihan).....	2,75
Gneiss. Kerhino-en-Vannes.....	1,7
Granite. Bretagne (Collect. de M. A. Demay).....	2,8
Granite. Quiberon.....	2,75
Granulite. Ile-aux-Moines (Morbihan).....	3,6

Dans l'ensemble, ces résultats confirment ceux obtenus antérieurement par d'autres auteurs utilisant des méthodes complètement différentes. Les valeurs proposés par ceux-ci sont résumées ci-après (20) :

Auteurs	Année	Roches acides (rapport C_{Th}/C_U)
Alfveys.....	1936	2,6
Blmes.....	1938	1,7
Keevil.....	1938	2,8
Blmes.....	1938	2,5
Ger.....	1938	3,3
rans, Goodman.....	1941	4,5
rans, Goodman, Keevil.....	1942	4

Les derniers travaux de N. B. Keevil (21) tendent à donner ce rapport la valeur 3,35 pour les roches granitiques (moyenne de 19 déterminations). Les résultats qu'il obtient sont d'ailleurs extrêmement avec la nature de la roche et différents granites étudiés ont des rapports C_{Th}/C_U variant de 0,7 à 8. Nos mesures cadrent donc bien avec celles de cet auteur et nous adopterons par la suite la valeur $C_{Th}/C_U = 3$ généralement admise.

Nous devons cependant signaler que quelques roches (mica-schiste de Quiberon, et granulite de l'Ile-aux-Moines semblent avoir une teneur en thorium légèrement plus élevée. Ceci pourrait être dû à la présence de cristaux radioactifs assez grands (ordre du mm.), ne contenant que du thorium, et qui modifieraient le rapport des concentrations de l'ensemble. Nous avons rencontré, pour la première fois de telles inclusions dans des granites polis, mais nous les avons reconnus sans doute possible dans les deux roches citées.

CHAPITRE VI

TENEUR GLOBALE EN URANIUM ET EN THORIUM DE QUELQUES ROCHES

§ 20. — Principe de la méthode.

En admettant le rapport $C_{Th}/C_U = 3$ évalué dans le précédent chapitre, il nous est possible de déterminer les teneurs en uranium et en thorium de quelques roches.

Le nombre N de rayons α émis par cm^2 et par seconde est tel que :

$$N = (8,58 C_U + 1,92 C_{Th}) K'.$$

Si l'on pose

$$C_{Th} = 3 C_U,$$

il vient

$$N = 14,34 C_U K'.$$

La détermination du coefficient K' est délicate. Pour le granite en effet $K' = 12,7$, pour la silice $K' = 14,1$, pour le mica $K' = 16,3$ et pour les zircons $K' = 19$. Comme il s'agit de faibles concentrations et généralement de roches pulvérisées, donc de cristaux radioactifs de dimensions très réduites, nous avons adopté une valeur moyenne $K = 16$. Ceci introduit peut-être une erreur qui est au maximum de $3/13 \approx 22 \%$, mais qu'il semble difficile d'éviter.

Nous trouvons donc :

$$C_U = \frac{N}{14,34 \cdot 16} = \frac{N}{230} = 0,0043 N.$$

§ 21. — Détermination du nombre moyen N de trajectoires visibles émises par cm^2 et par seconde.

Pour déterminer le nombre N , il faut, nous l'avons vu, évaluer la moyenne du nombre de trajectoires visibles inscrites par champ de microscope pendant un temps de pose donné, et ramener ce résultat à $1 cm^2$ et à 1 seconde.

Cette numération est évidemment soumise aux lois de la statistique. Pour les minerais fortement radioactifs, étudiés précédemment, l'activité était à peu près uniforme et l'on trouvait, dans chaque champ de microscope, à peu près le même nombre de trajectoires. Une centaine de champs, pris au hasard, sembleraient suffire pour établir une bonne moyenne. Si n représente le nombre de champs examinés, les calculs de Poisson nous permettent d'admettre une erreur absolue probable de $0,67 \sqrt{n}$. 100 champs conduisent donc à une erreur relative de 7 %.

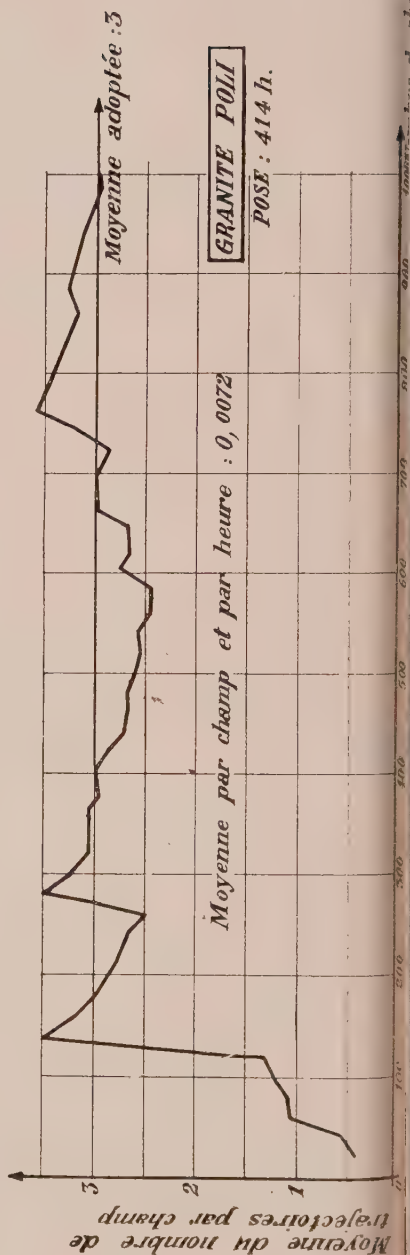
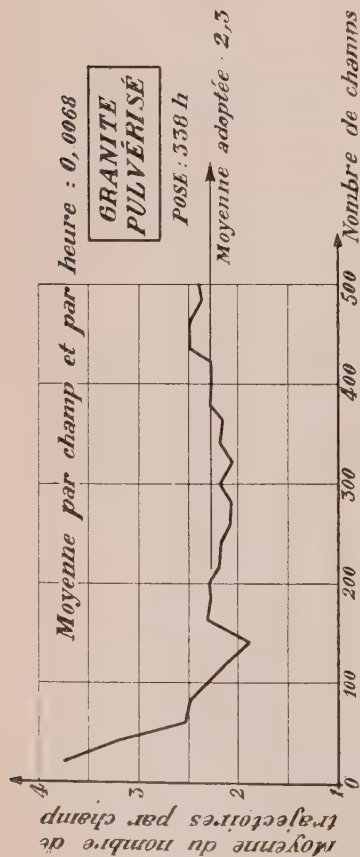
Pour les roches, cette détermination présente une certaine difficulté en raison de la répartition non uniforme de la radioactivité. Le nombre de champs à examiner dépendra de cette répartition et devra être d'autant plus grand que la répartition sera moins régulière. Il semble difficile d'indiquer le nombre de champs sur lequel on doit établir la moyenne. Le mieux, semble-t-il, est de calculer celle-ci à chaque fois qu'on a compté les trajectoires de 20 ou 30 champs. On s'arrête lorsque cette moyenne tend vers une valeur constante. Les concentrations de rayons rencontrées font brusquement changer la moyenne. En général, pour le même temps, avec une roche pulvérisée, les agglomérations montrent au maximum 100 trajectoires, alors qu'avec la même roche polie, elles peuvent en contenir jusqu'à 2.000 ou 3.000. Si l'on compte n champs, la brusque découverte d'une concentration augmente la moyenne de $100/n$ s'il s'agit d'une poudre et de $2.000/n$ s'il s'agit d'un roche compacte. En tolérant une erreur absolue de 100 trajectoire sur la moyenne, l'observation de 500 champs suffit pour une poudre. Il en faut théoriquement 10.000 pour certaines roches polies.

Les 2 graphiques (fig. 15) montrent clairement comment nous avons pu établir nos moyennes. Ils correspondent tous deux à la même roche, un granite de Bretagne de la collection de M. A. Demay, mais le premier échantillon a été pulvérisé et le second poli. On a donc très souvent intérêt, pour la détermination globale de la radioactivité à impressionner la plaque avec la roche en poudre plutôt qu'avec la roche

Fig. 15. — Établissement de la moyenne du nombre de trajectoires visibles par champ de microscope. On calcule la moyenne totale à chaque fois qu'on a compté le nombre des trajectoires inscrites dans 20 champs.

A. *Granite pulvérisé*. Les grains radioactifs étant broyés, la radioactivité de la poudre est presque uniforme. On arrive assez rapidement à une moyenne constante (500 champs).

B. *Le même granite poli*. Les grains radioactifs sont plus gros et la répartition est loin d'être uniforme. La découverte des traces produites par une inclusion modifie brusquement la moyenne. Il faut examiner au moins 1.000 champs, pour tendre vers une constante.



lie. Les gros grains radioactifs sont broyés et se mélangent peu près régulièrement à la matière inerte.

Ceci n'est d'ailleurs pas général, car certaines roches polies présentent pas les fortes concentrations dont nous parlions précédemment, mais elles montrent au contraire un grand nombre de petites concentrations. En ce cas, la détermination du nombre N peut aisément se faire avec la roche polie.

Notons que, contrairement à ce qu'on pourrait penser, la réduction d'un corps en poudre ne modifie pas le nombre de rayons émis par cm^2 et par seconde. Plusieurs expériences ont montré qu'une roche pulvérisée doublait pratiquement de volume : 1 cm^3 de granite compact donne 2 cm^3 de granite pulvérisé. Le cm^3 supplémentaire est de l'air interstitiel d'un poids d'environ $0,0013 \text{ g.}$, poids négligeable par rapport à celui des autres constituants. La concentration en poids de la matière reste pratiquement invariable et le coefficient K' ne change pas. La teneur en poids des matières radioactives n'a varié non plus, donc le nombre N reste constant.

Nous avons vérifié ce fait expérimentalement. Le granite de Bretagne, dont il était question plus haut, nous donne par lame et par champ de microscope $0,0068$ trajectoire avec la roche pulvérisée et $0,0072$ trajectoire avec la roche polie. La différence de $5,7 \%$ semble être inférieure aux erreurs de statistique.

Il faut se méfier toutefois des pertes d'émanations et il y a tout-à-fait intérêt à ne pas pulvériser trop finement. D'autre part, il ne faut pas exagérer le temps de pose, car on risque d'obtenir des concentrations très denses où toute numération est impossible. Souvent même un premier essai fait avec une pose de un jour ou deux sera nécessaire pour donner une idée des dimensions, du nombre et de l'activité des inclusions. Même en cas de roches à radioactivité particulièrement faible, une pose de 3, 4 ou 5 jours suffira pour obtenir de bons résultats.

§ 22. — Résultats.

Nous donnons ci-après ceux que nous avons obtenus :

Nature et origine de la roche.....	N × 10 ³	CU × 10 ⁵	C _{Th} × 10 ⁵
Granite porphyroïde (Les Trois Rois, Vannes, Morbihan)...	2,6	1,14	3,3
Granite (Aber-Ildut).....	1,25	0,54	1,62
Granite de Bretagne (Coll. M. Demay).....	2,0	0,86	2,58
Granite (Le Garo, près Vannes).	1,0	0,43	1,29
Granite (Lignole, près Vannes).	8,0	3,44	10,32
Granite (Le Guern, près Vannes).	3,4	1,46	4,38
Granite (Vallée de l'Ellée, le Faouet, Morbihan).....	1,2	0,51	1,53
Granite (Saint-Guénolé-Pen marc'h, Finistère).....	1,0	0,43	1,29
Granite rose (Roscanvel, Finis- tère).....	2,16	0,92	2,76
Gneiss (Kerhino-en-Vannes) ..	1,0	0,43	1,29
Gneiss granulitique (Ile d'Ilur, Golfe du Morbihan).....	0,8	0,34	1,0
Gneiss (Bernus-en-Vannes)...	0,9	0,38	1,17
Granulite (Isle-aux-Moines, Golfe du Morbihan).....	0,8	0,34	1,0
Granulite (Ty Gward, La Tri- nité-sur-Mer, Morbihan)....	1,1	0,47	1,41
Granulite (Larmor-Baden, Mor- bihan, côte Ouest).....	0,5	0,22	0,66
Granulite (Larmor-Baden, Mor- bihan, côte Sud).....	1,25	0,54	1,62
Granulite (Ile de Gavr'Inis, Golfe du Morbihan).....	1,3	0,56	1,68
Micaschiste (Quiberon, Mor- bihan).....	2,0	0,86	2,58
Micaschiste (Arradon, Mor- bihan).....	1,9	0,81	2,43

Nature et origine de la roche.....	$N \times 10^3$	$C_U \times 10^5$	$C_{Th} \times 10^5$
micaschiste (Audierne, Finistère).....	0,28	0,12	0,36
grito-schiste (Saint-Nolff, Morbihan).....	0,85	0,36	1,08
schiste glanduleux (Tréalré, Morbihan).....	3,0	1,29	3,9
schiste à amphibole (Cosquéric-en-Vannes).....	2,6	1,12	3,36
schiste (Larré, Morbihan).....	1,36	0,58	1,74
ble (Plage de Kerhino, La Trinité-sur-Mer, Morbihan).	0,06	0,024	0,07
ble (Plage des « Américains », La Trinité-sur-Mer).			
1 ^{er} échantillon.....	14	6,0	18,0
2 ^e échantillon.....	6,0	2,58	7,8
ble (Plage des Demoiselles, Pénestin, Morbihan).....	12	5,16	15,5

Des résultats nous montrent que les roches étudiées ont, en général, des teneurs globales en uranium légèrement inférieures à 10^{-5} (moyennes pour 25 mesures : $0,75 \cdot 10^{-5}$) et en thorium de l'ordre de $2,5 \cdot 10^{-5}$. Ils correspondent très exactement à ceux cités par M^{me} Curie (22), qui donne pour les grès et les gneiss une teneur moyenne en uranium de l'ordre $0,8 \cdot 10^{-5}$ et une teneur moyenne en thorium atteignant 10^{-5} et pour les grès et les schistes des concentrations de $C_U = 0,4 \cdot 10^{-5}$ et $C_{Th} = 1,2 \cdot 10^{-5}$.

Ils confirment également ceux d'Evans (23) qui admet pour les granites des concentrations en uranium variant de $0,3 \cdot 10^{-5}$ à $5,3 \cdot 10^{-5}$ et des concentrations en thorium allant de $0,6 \cdot 10^{-5}$ à $1,1 \cdot 10^{-5}$, mais ils semblent légèrement supérieurs, dans l'ensemble à ceux que donne N. B. Keevil (24) dont les moyennes s'établissent aux environs de $C_U = 0,4 \cdot 10^{-5}$ et de $C_{Th} = 1,2 \cdot 10^{-5}$ pour une dizaine de granites.

Il est vrai que nous devons noter quelques roches, assez rares, qui ont des teneurs nettement inférieures à notre

moyenne, telles que la granulite de Larmor-Baden, côte ouest ($C_U = 0,2 \cdot 10^{-5}$) et le micaschiste d'Audierne ($C_U = 0,11 \cdot 10^{-5}$). Trois autres roches non mentionnées dans le tableau précédent ne semblent contenir que des traces de matières radioactives (granulite de La Chesnaye-en-Vannes, quartz de Ty Gward à La Trinité-sur-Mer, granite de Loctudy (Finistère)). Pour ces dernières les traces des rayons α sont rares et généralement isolées. Leur teneur en uranium ne semble pas supérieure à 10^{-7} , mais peut-être ne s'agit-il que d'échantillons particulièrement pauvres dont la composition ne correspond pas à celle de l'ensemble de la roche. Remarquons en effet que deux échantillons, prélevés dans le même filon rocheux, à 500 mètres l'un de l'autre ont donné des résultats nettement différents. Ce sont les deux échantillons de granulite de Larmor-Baden, dont l'un pris sur la côte ouest, accuse une concentration en uranium de $0,2 \cdot 10^{-5}$ alors que l'autre, pris sur la côte sud, a une concentration qui atteint $0,5 \cdot 10^{-5}$.

À côté de ces roches à teneurs inférieures à la moyenne, nous devons signaler quelques échantillons plus actifs. Parmi ceux-ci, le granite de Lignole, près Vannes, montre une concentration en uranium de $3,2 \cdot 10^{-5}$ et en thorium de $10,32 \cdot 10^{-5}$. Cette roche n'est pas un granite franc, car elle a été prélevée à la séparation de deux massifs rocheux, l'un de granite, l'autre de gneiss qui coupent le Morbihan du sud-ouest au nord-ouest. Keevil a remarqué un fait semblable et signale (25) un massif dont la radioactivité est plus forte sur les bords.

Nous mentionnerons également spécialement le sable de Pénestin (Plage des Demoiselles) et celui de La Trinité-sur-Mer (Plage des « Américains »), dont les concentrations en matières radioactives dépassent nettement celles des roches qui leur ont donné naissance. Le sable de Pénestin est connu depuis les temps préhistoriques pour sa teneur en étain qui fit donner le nom au village voisin. Au siècle dernier on devait y découvrir de l'or et constater qu'il était presque uniquement formé d'éléments lourds (cassitérite, magnétite, etc...) (26). Il a été déposé par les eaux de la Vilaine qui

nt arraché aux roches désagrégées des terrains traversés. s'est produit une lévigation naturelle avec accumulation, en certains endroits, des éléments lourds. Il était donc naturel de trouver les inclusions radioactives contenues dans les roches.

Le fait ne semble pas particulier aux rivages de la Vilaine. La richesse en éléments radioactifs du sable de la plage des « Américains », à La Trinité-sur-Mer, richesse relative par rapport à celle des plages voisines pourrait s'expliquer par le phénomène du même genre.

CHAPITRE VII

ÉTUDE DES DIVERSES INCLUSIONS RENCONTRÉES DANS LES ROCHES ÉTUDIÉES

§ 23. — Généralités.

Nous avons signalé (§ 17) que la radioactivité des roches n'est pas répartie uniformément. Elle est au contraire concentrée dans de petites inclusions qui donnent en certains points de la plaque des amas de trajectoires de rayons α .

L'étude de ces agglomérations de trajectoires montre que les inclusions ne sont pas toutes semblables. Certaines, émettent un grand nombre de particules α , ont une forte teneur en matières radio-actives ; d'autres, ne donnant qu'un nombre restreint de rayons α , ont une teneur bien moindre. Nous avons essayé, dans ce qui suit, de classer les inclusions d'après leurs concentrations en uranium et en thorium.

Nous avons quelquefois impressionné les plaques avec des poudres (concentrés d'éléments lourds des roches, sables naturels), mais, le plus souvent, nous l'avons fait avec des roches polies. Cette dernière méthode présente l'avantage de permettre le repérage de l'inclusion et d'obtenir d'elle plusieurs impressions. Elle autorise, par la suite, l'identification minéralogique.

A chaque pose faite avec une roche polie, nous avons placé

notre échantillon sur l'émulsion et avons éclairé l'ensemble par-dessus pendant un temps très court de l'ordre de 2 ou 3 secondes. La plaque se trouve ainsi impressionnée par la lumière sur les parties non recouvertes et le développement dessine, en noir, dans tous ses détails, le contour de la roche. On peut ainsi repérer avec soin la position des agglomérations des rayons sur la plaque et déterminer à 10 ou 15 μ près leur origine sur le minéral.

A. — PETITES INCLUSIONS A TRÈS FORTE RADIOACTIVITÉ.

§ 24. — Origine.

Nous devons signaler tout d'abord, la présence, dans les roches d'un petit nombre d'inclusions ayant une surface de l'ordre de quelques centièmes de millimètres carrés et possédant une très forte radioactivité.

Nous les avons rencontrées :

1° Dans un échantillon poli d'un granite de Bretagne (Collection de M. A. Demay), granite dont nous avons déjà étudié la teneur globale (fig. 19).

2° Dans un concentré d'éléments lourds extraits par M. Demay de ce même granite de Bretagne (fig. 18).

3° Dans un échantillon de granite poli de la région d'Angers. (fig. 17-20-21).

4° Dans le sable de Penestin déjà signalé.

Un premier examen des longueurs des trajectoires montrent que certaines impressions possèdent un grand nombre de trajectoires correspondant à plus de 7 cm. d'air et que d'autres, au contraire, n'en possèdent pas ou très peu. Ceci nous permet donc de classer immédiatement ces inclusions en 2 catégories : celles qui ont une forte teneur en uranium et celles qui ont une forte teneur en thorium.

§ 25. — Inclusions à forte teneur en thorium.

Le calcul du rapport des concentrations en thorium et en uranium par la méthode exposée précédemment (§ 17) nous a donné les résultats résumés dans le tableau suivant :

Origine	N° des inclusions	Surface approximative	v_1	v_2	$\frac{C_{Th}}{C_U}$
Sable de	1	0,16	84	45	∞
Pénestin	2	0,04	26	21	364
(Plage des	3	0,04	16	11	∞
Demoiselles)	4	0,02	19	15	∞
Éléments	1	0,03	32	30	24
lourds du	2	0,02	24	20	110
Granite de	3	0,005	12	12	16
Bretagne	4	0,04	17	12	∞
(Coll. de	5	0,03	35	24	∞
M. A. Demay)	6	0,02	22	18	194
Granite d'Angers	c	0,015	8	8	16

Ces résultats tendent à prouver que ces inclusions contiennent une très forte proportion de thorium avec peu ou pas d'uranium. Par la suite, nous avons déterminé la concen-



Fig. 16. — Concentré d'éléments lourds du granite de Bretagne. Pose relativement courte (200 minutes).

178 trajectoires provenant d'un champ d'environ 0,025 mm². Quelques trajectoires de Th C'. Ce qui laisse supposer qu'il s'agit d'une inclusion à thorium. Le calcul de la concentration donne : $C_{Th} \approx 80\%$.

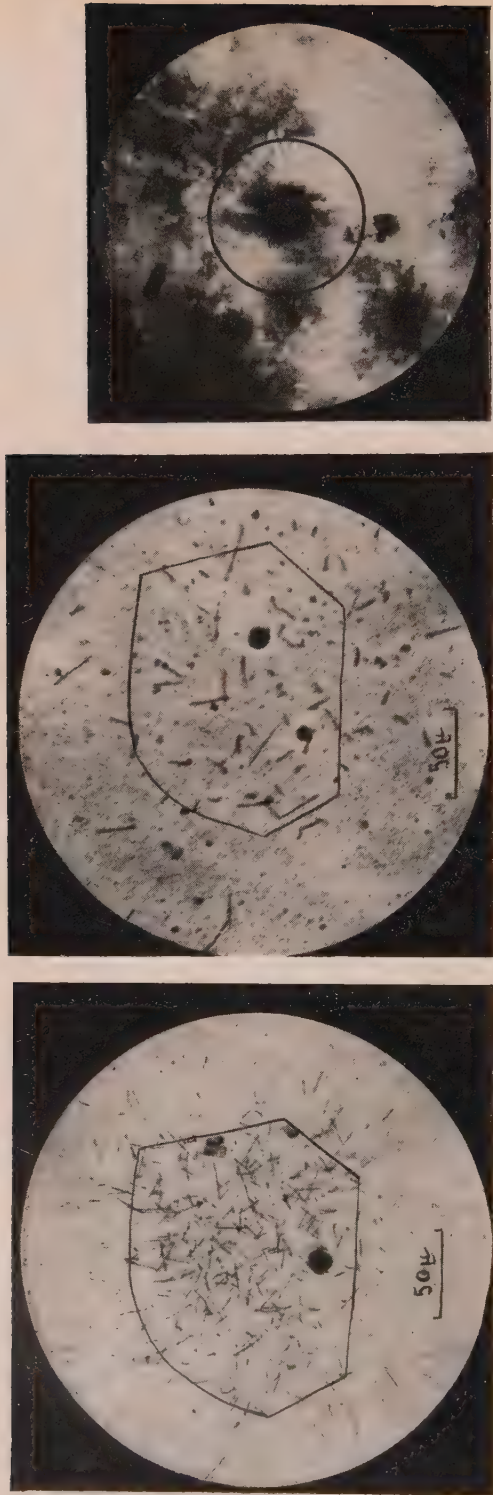


Fig. 17. — *Inclusion à forte teneur en thorium*. Granité poli de la région d'Angers, inclusion c. La surface de l'inclusion a pu être déterminée approximativement par l'examen d'une plaque obtenue avec une pose relativement longue (16 heures).
 La numération des particules émises n'a pu se faire que par l'étude d'une plaque obtenue avec un temps de pose plus court (4 heures). Une pose de 66 heures n'a pas permis de préciser davantage le contour de l'inclusion, car au moment de la pose, le cristal s'est trouvé séparé de l'émulsion par une mince couche d'air. Elle a permis par contre la mesure des longueurs des trajectoires et l'évaluation du rapport des concentrations en thorium et en uranium.
 A droite, le cristal radioactif.

ation en matières radioactives de ces inclusions en les admettant formées uniquement de thorium.

Pour le sable de Pénestin et pour le concentré d'éléments lourds du granite de Bretagne, le calcul de cette teneur n'a pu se faire avec les plaques précédentes qui ont été obtenues avec des poses de plusieurs jours. En effet, le centre des traces

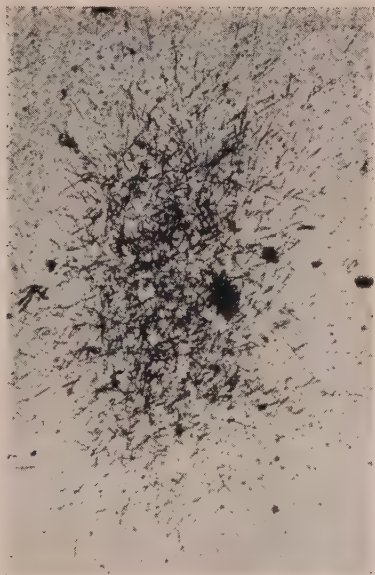


Fig. 18. — Trajectoires données en 3 jours par une inclusion à forte teneur en thorium rencontrée dans un concentré d'éléments lourds du granite de Bretagne (Coll. de M. Demay).

ces inclusions montrent un fouillis inextricable de trajectoires (plusieurs milliers par champ de microscope) et toute numération est impossible.

Une pose relativement courte de 3 heures 20 minutes (soit 20 minutes) nous a permis de trouver une trace donnant 8 trajectoires dans un champ d'environ $0,025 \text{ mm}^2$ (fig. 16). Nous avons pu ainsi déterminer la concentration en thorium dans de bonnes conditions. Cette teneur évaluée à 10 ou 15 % des sels est de l'ordre de 80 %.

Pour le granite d'Angers, la mesure s'est trouvée facilitée par le fait que le grain radioactif est inclus dans la roche. Malgré de multiples nettoyages avec des solvants divers (alcool, acétone, benzine, éther...), chaque pose de la roche a donné, à la même place, une concentration de rayons α . C'est ainsi que nous avons pu faire une pose relativement longue pour déterminer la surface dans de bonnes conditions car, dans ce cas, les trajectoires en grand nombre dessinent le contour approximatif du cristal et une pose courte pour faire une numération convenable des rayons émis. Nous avons obtenu les résultats suivants : (fig. 17). Pose 16 heures : Surface approximative 15.000 μ^2 Pose 4 heures : 72 trajectoires d'où $N = 33,6$

$$\text{donc } 1,92 C_{Th} K' = 33,6 \quad C_{Th} K' = 17,4.$$

Le graphique du paragraphe 8 donne $C_{Th} = 68 \%$.

Cette teneur, du même ordre de grandeur que la précédente, correspond, aux erreurs près, à celle de la thorite SiO_2, ThO_2 qui contient 71 % d'uranium.

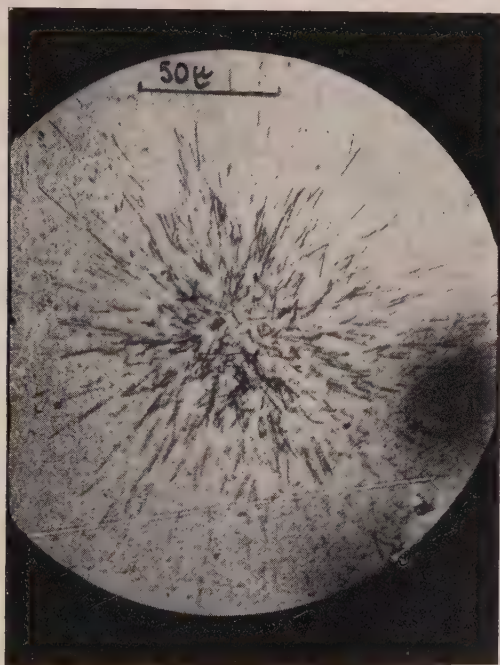
§ 26. — Inclusions à forte teneur en uranium.

En étudiant le granite poli de la région d'Angers, nous avons découvert, à côté de l'inclusion à thorium (désignée précédemment par c), des inclusions émettant un nombre bien plus grand de rayons α et contenant sans aucun doute de l'uranium.

Nous avons pu obtenir des photographies avec des poses de 30 minutes, 95 minutes, 2 heures 30 minutes, 4 heures, 19 heures 44 minutes, 20 heures et 66 heures. L'évaluation du nombre de rayons α visibles émis par centimètre carré et par seconde a été effectuée sur ces divers clichés et nous avons trouvé les résultats suivants : (fig. 20).

Inclusion	Temps de pose	Nombre de trajectoires visibles	Nombre moyen de trajectoires par minute	Surface de l'inclusion	N
a	30 mn.	16	0,53	4.500 μ^2	192
	95 mn.	45	0,47		
	2 h. 30 mn.	78	0,52		
	4 h.	132	0,55		
b	19 h. 44 mn.	96	0,53	4.100 μ^2	211
	3 h.				

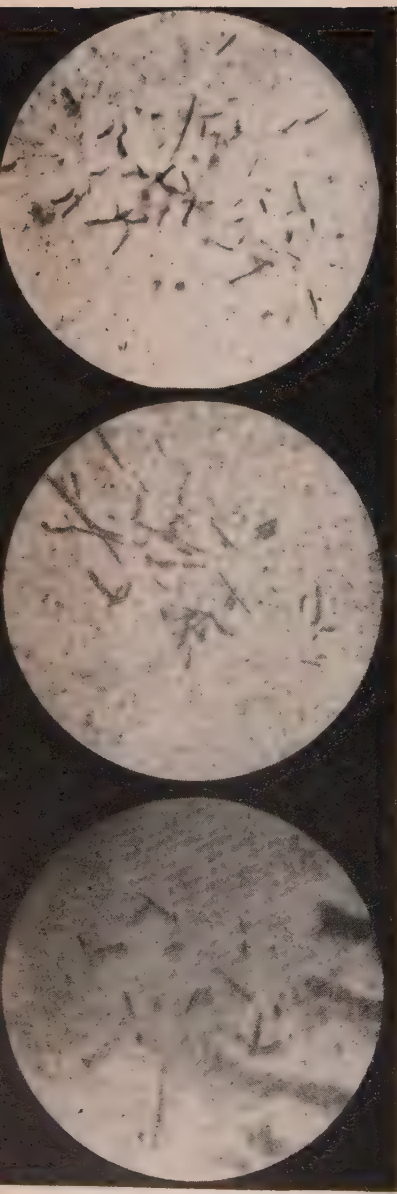
La mesure des longueurs des trajectoires montre nettement l'existence de quelques rayons ayant dans l'air un parcours de plus de 7 cm. Ceci implique nécessairement la présence de *thorium*. Il ne peut cependant être question de considérer que



Pl. 19. — Inclusion à forte teneur en uranium rencontrée dans un granite de Bretagne poli (Coll. de M. H. Demay).

L'inclusion a été séparée de la plaque photographique par une mince couche d'air ou de matière inactive. Il est difficile de déterminer le contour de l'inclusion (nous l'avons estimée, en prolongeant les trajectoires à 4, 9, 10—5 cm²). La mesure des longueurs des trajectoires ne permet pas de déceler une seule trajectoire de plus de 7 cm. d'air, c'est-à-dire provenant certainement de *Th C'*. Nous avons donc admis que cette inclusion contenait de l'uranium peu ou pas de thorium.

Cette inclusion ne contient que du thorium comme celles que nous avons étudiées précédemment pour deux raisons : le nombre des trajectoires de plus de 7 cm. d'air sont en nombre très réduit (2 ou 3 sur environ 600) et le thorium en



2 h 30 mn

95 mn

30 mn

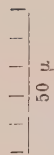
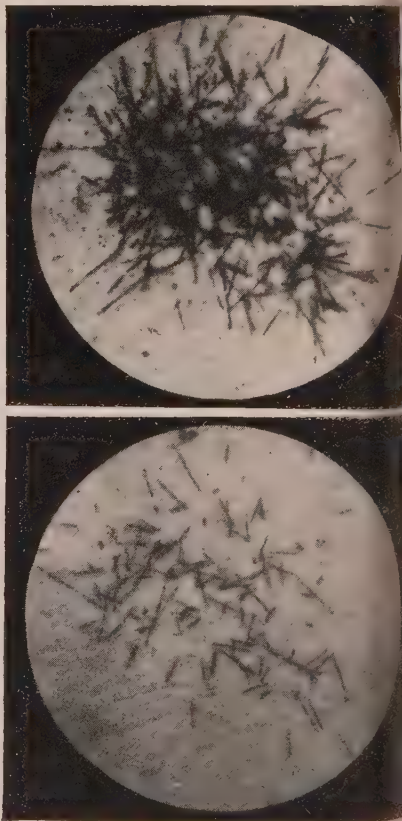


FIG. 20. — *Inclusion à forte teneur en uranium. Granite d'Angers poli, inclusion a.* Traces obtenues avec des temps de pose différents. La pose de 20 heures permet de déterminer convenablement le contour de l'inclusion, les autres ne permettent que d'obtenir le nombre de rayons émis.



équilibre avec ses dérivés ne peut donner au maximum que 10 trajectoires visibles par centimètre carré et par seconde. Nous sommes donc conduits à admettre *la présence d'uranium*.

L'évaluation du rapport C_{Th}/C_U des concentrations en thorium et en uranium ne peut donner que des résultats très approximatifs, car le nombre des trajectoires facilement mesurables est réduit, les grains radioactifs étant sans doute légèrement distants de l'émulsion. En considérant un certain nombre de trajectoires plongeantes et en corrigeant leur longueur apparente nous avons trouvé pour l'inclusion *a*, en examinant 7 photographies, 5 rayons ayant dans l'air un parcours plus de 7 cm. et 38 rayons ayant un parcours compris entre 5,8 et 7 cm. Les résultats obtenus avec l'inclusion *b* sont du même ordre. Ces nombres sont insuffisants pour une détermination satisfaisante.

Il est vraisemblable d'admettre que l'uranium et le thorium existent pas dans cette roche à l'état pur mais sous forme d'oxyde. Or l'oxyde d'urane et l'oxyde de thorium contiennent environ 85 % de métal, ce qui nous conduit à écrire que la somme des concentrations en uranium et en thorium est au plus égale à 0,85 :

$$C_U + C_{Th} \leq 0,85.$$

D'autre part, on doit avoir :

$$(8,58 C_U + 1,92 C_{Th}) K' = N.$$

Un minerai ayant une très forte concentration en métaux radioactifs, nous avons $K' = 32$ (voir § 8).

Si on pose $C_{Th} = 0,85 - C_U$

on vient : $213 C_U = N - 52$

ce qui donne :

pour l'inclusion <i>a</i> :	$C_U = 66 \%$	$C_{Th} = 19 \%$
pour l'inclusion <i>b</i> :	$C_U = 73 \%$	$C_{Th} = 10 \%$

Ces valeurs des concentrations en uranium représentent des minima, car une concentration plus faible en uranium impos-

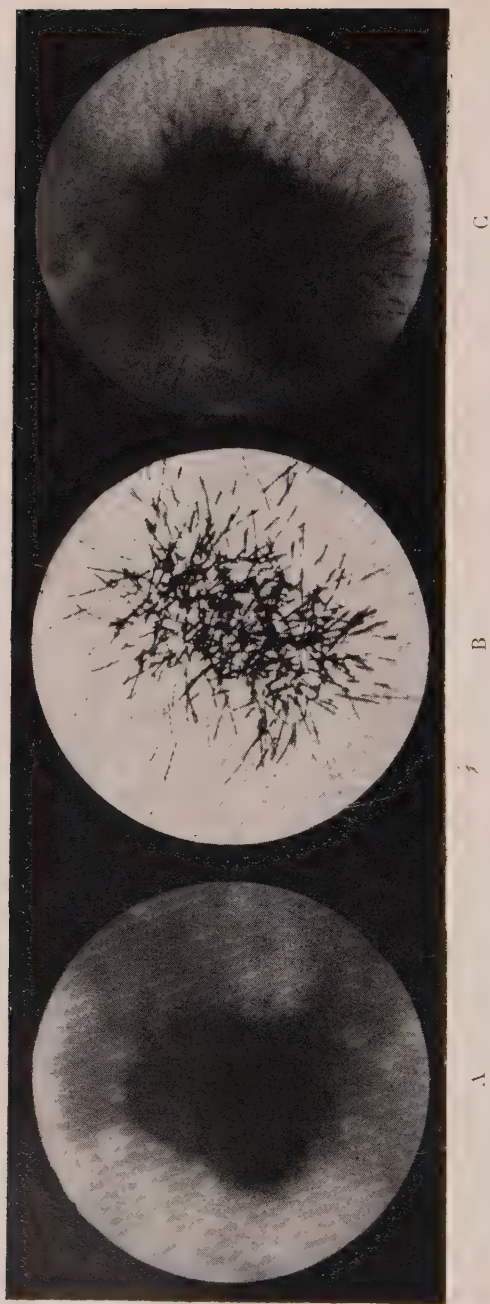


FIG. 21. — *Inclusion à forte teneur en uranium. Granite d'Angers, inclusion b (voir planche précédente).*

A. — Le cristal radioactif photographié à la même échelle que les traces laissées par lui sur l'émulsion.

B. — Les traces laissées par le cristal sur l'émulsion (en 19 heures 44 minutes).

C. — La superposition des 2 photographies précédentes. On constate la parfaite correspondance des contours du cristal et des traces.

rait pour avoir $N = 192$ ou $N = 211$ une concentration très grande en thorium et la somme $C_U + C_{Th}$ dépasserait 0,85, ce qui est peu probable.

Mais il est bien évident qu'il peut y avoir une teneur en uranium supérieure à 66 % pour a et à 73 % pour b jusqu'aux limites données par les équations

$$8,58 C_U \times 32 = N$$

obliques pour les corps ne contenant que de l'uranium. Ces limites sont environ de 70 % pour l'inclusion a et de 77 % pour l'inclusion b .

A cause des erreurs commises en particulier sur l'évaluation de la surface, ces valeurs ne sont connues qu'avec une précision de l'ordre de 10 %. Il semble donc logique d'admettre la moyenne entre les résultats donnés par les 2 inclusions et de considérer qu'elles contiennent environ 70 % d'uranium et quelques centièmes de thorium.

§ 27. — Aspect des inclusions sur la roche.

Nous avons essayé de reconnaître sur la roche les inclusions mentionnées aux paragraphes 25 et 26. Nous avons opéré de la façon suivante. Nous avons placé sur la platine du microscope la roche et la plaque convenablement superposées (ce qui est possible grâce au dessin du contour de la roche sur la plaque). En déplaçant l'ensemble roche-plaque, nous avons cherché sur l'objectif les traces données par l'inclusion recherchée sur la plaque. Celle-ci enlevée, l'inclusion doit se trouver exactement sous les traces. A cause des erreurs de repérage, erreur atteignant 10 ou 15 μ , elle ne s'y trouve pas généralement, elle reste dans le champ du microscope. Nous avons alors cherché parmi les inclusions visibles, celle qui correspondait en forme, en grandeur et en orientation à la trace inscrite sur la plaque. A titre de vérification nous avons entouré l'inclusion repérée de feuilles d'aluminium de 30 μ d'épaisseur qui couvrent une grande partie des rayons α , et avons essayé d'impressionner une plaque photographique avec la roche ainsi

préparée. Nous avons obtenu, à l'endroit laissé libre un grand nombre de trajectoires, ce qui prouve que l'inclusion était bien découverte.

Dans les deux cas (inclusion à thorium et inclusion à uranium), le cristal a la forme d'un petit grain brun foncé à angles arrondis (fig. 17 et 21).

Les surfaces et les formes de ces grains correspondent très exactement à celles que nous leur avons données après examen des traces des trajectoires des particules α .

B. — INCLUSIONS A FAIBLE TENEUR EN URANIUM.

§ 28. — Origine, dimensions, et teneurs des inclusions à faible concentration en uranium.

A côté des inclusions précédentes très radioactives, nous avons rencontré, dans des roches polies, certains cristaux dont l'activité est bien moindre.

Leurs dimensions sont assez réduites : elles varient de quelques centaines à quelques milliers de microns carrés.

Aucune de ces inclusions n'a présenté de rayons ayant dans l'air un parcours supérieur à 7 cm. d'air, bien que nous ayons examiné dans les agglomérations signalées ci-après plus de 400 trajectoires. Nous admettrons donc qu'elles ne contiennent que de l'uranium.

Certaines d'entre elles se sont trouvées au contact de l'émulsion et l'évaluation de la surface d'émission n'a pas présenté de grosses difficultés. D'autres inclusions ont été au moment de la pose séparées de la plaque photographique par une mince couche de matière inerte. En ce cas, cependant, nous avons pu en déterminer les dimensions approximatives en prolongeant les trajectoires les plus voisines de la source. On peut difficilement tenir compte des trajectoires les plus éloignées en raison de la distorsion dans l'air. L'appréciation de la surface introduit donc ici une erreur assez grande. En ne mesurant que la projection du cristal, on commet certainement une erreur par défaut qui peut être d'ailleurs compensée par l'excès que donne la distorsion.

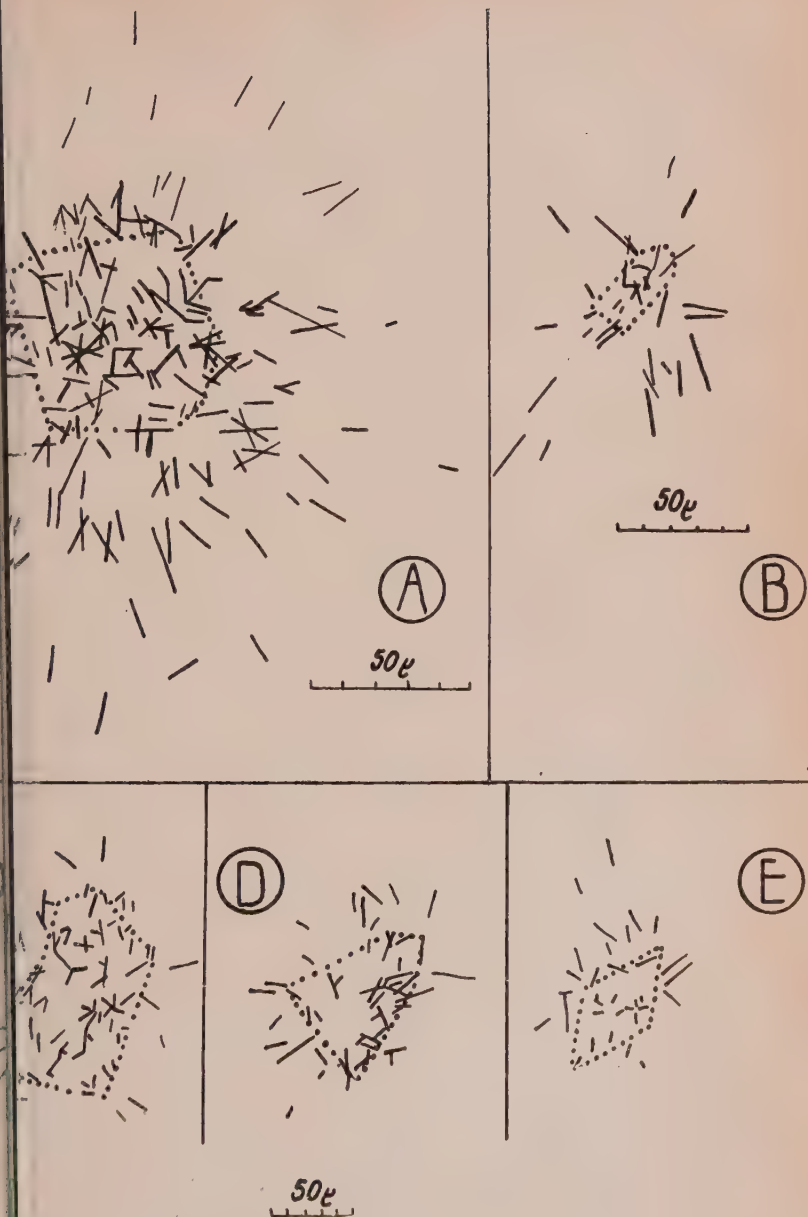


FIG. 22. — Inclusion à faible teneur en uranium.
Aucune trajectoire ne mesure plus de 7 cm. d'air.

Granite de Bretagne.

C, D, et E. — Granite de Lignole-en-Vannes.

En examinant quelques inclusions de ce type trouvées dans deux granites polis, nous avons obtenu les résultats suivants :

ORIGINE DE LA ROCHE	TEMPS DE POSE (en h.)	SURFACE APPROXI- MATIVE (en μ^2)	NOMBRE DE RAYONS	N	C _U	FIG.
Granite de Bretagne	414	3.000	186	4,7	0,04	A
	210	270	40	19	0,14	B
Granite de Lignole	112	6.900	92	4	0,035	C
	112	2.800	51	4,5	0,04	D
	112	2.000	34	4,2	0,04	E

A part un cristal qui semble avoir une teneur en uranium de l'ordre de 14 %, tous les autres ont à peu près la même activité correspondant à une concentration d'environ 4 %.

Nous pouvons, en outre, constater qu'à l'intérieur des cristaux, la radioactivité n'est pas uniforme. Celle-ci, au contraire, semble provenir de quelques centres bien définis. Ainsi, en prolongeant toutes les trajectoires données par le cristal A (fig. 22), on peut voir que les rayons peuvent être émis par 17 ou 18 petites surfaces mesurant chacune environ 10 μ^2 . Certaines d'entre elles semblent émettre jusqu'à 20 ou 25 rayons α , ce qui leur donnerait une activité correspondant à une concentration de 60 % d'uranium. Cette dernière évaluation n'a été faite qu'avec de multiples erreurs : erreurs sur le nombre des trajectoires, car tel rayon que nous affectons à un centre pourrait être affecté à un autre situé également sur son prolongement, erreur sur l'évaluation de la surface, car les trajectoires inscrites assez loin du centre peuvent avoir subi une distortion. Nous devons donc considérer l'évaluation précédente comme très grossière. Elle tend, tout simplement, à prouver qu'il y a, à l'intérieur des cristaux, des centres très actifs et que de tels cristaux, brisés par pulvérisation, peuvent donner des grains dont l'activité est inférieure ou supérieure à celle de l'ensemble. Il ne serait donc pas extraordinaire de

puver avec les roches pulvérisées des inclusions dont les teneurs en uranium seraient très variables.

C. — INCLUSIONS A FAIBLE TENEUR EN THORIUM.

§ 29. — **Existence et méthode de localisation de ces inclusions.**

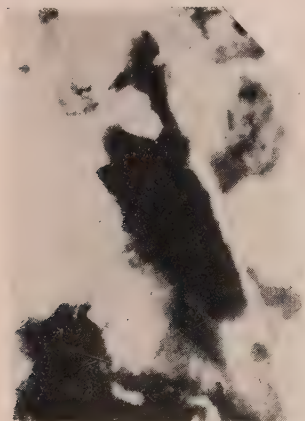
L'étude d'échantillons polis d'un granite de Bretagne (Collection de M. A. Demay), d'un granite de la région d'Angers et d'un granite de Locmalo (Morbihan) nous a prouvé l'existence de larges inclusions dont les dimensions dépassent souvent le millimètre et dont la radio-activité est assez grande.

Nous avons comme précédemment (paragraphe 23 et 27) déterminé avec soin la position des agglomérations de rayons sur la plaque et déterminé leur origine sur le minéral.

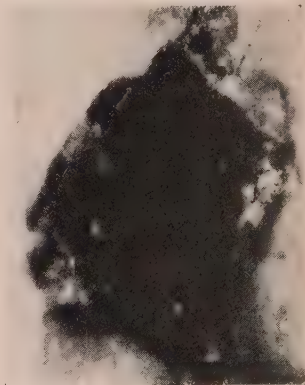
L'examen optique de celui-ci nous a permis de constater que chaque large zone impressionnée par des rayons correspondait à un cristal brun jaunâtre (fig. 23) dont l'identification n'est pas encore faite. En projetant sur le même écran d'abord les traces des particules α inscrites sur la plaque et ensuite le cristal qui semblait leur donner naissance, nous avons observé que ce dernier correspondait en forme, en grandeur et en position à l'ensemble des trajectoires observées (fig. 24). Cependant, nous avons dû choisir parmi les plaques obtenues, celles où l'inclusion se trouvait au contact de l'émulsion. En plaçant un cristal radio-actif placé sur la couche sensible impressionnant cette dernière approximativement selon son contour, et si ce cristal est séparé de l'émulsion par une mince couche de verre, la partie impressionnée s'élargit, tout en gardant cependant la forme primitive. C'est ainsi que l'inclusion 1 donne toujours une tache en triangle, la pointe en bas (fig. 25), et que l'inclusion 2 affecte toujours grossièrement une forme pentagonale.

Nous avons pu comparer facilement les diverses traces obtenues par une même inclusion en superposant convenablement sur la platine du microscope trois plaques imprégnées

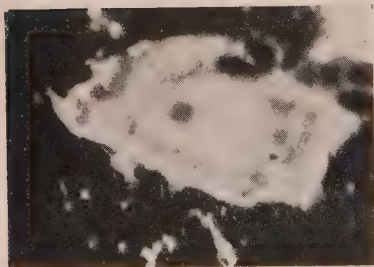
par le même échantillon de roche et en utilisant un objectif de faible grossissement. L'espace qui existe entre les plaques et l'objectif est assez grand pour permettre une mise au point successive sur les 3 émulsions.



A-1.



A-2.



A-5.

FIG. 23. — Photographies de cristaux radioactifs contenant une faible proportion de thorium (1 à 2 %).

A-1. Granite de Bretagne (Coll. de M. Demay). Cristal brun foncé inclus dans du quartz.

A-2. Granite de Bretagne. Cristal n° 2, cristal brun foncé inclus dans du quartz.

A-5. Granite de Bretagne. Cristal n° 5, cristal jaune brun inclus dans la biotite.

Il faut encore signaler que lorsque la roche est sur l'émulsion, on peut observer un grand nombre de trajectoires longues et qu'au contraire la roche séparée de l'émulsion par une mince couche d'air ne donne au centre que des trajectoires plongeantes qui, avec un faible grossissement, paraissent courtes et dont la mesure avec un fort grossissement devient



Fig. 24. — Inclusion à faible teneur en thorium. En projetant sur le même écran d'abord les traces des particules inscrites sur la plaque et ensuite le cristal qui semblait leur donner naissance, on peut observer que ce dernier correspond en forme, en grandeur, et en orientation à l'ensemble des trajectoires observées.

délicate. On n'obtient généralement, en ce cas, que quelques trajectoires à peu près parallèles à l'émulsion sur le pourtour

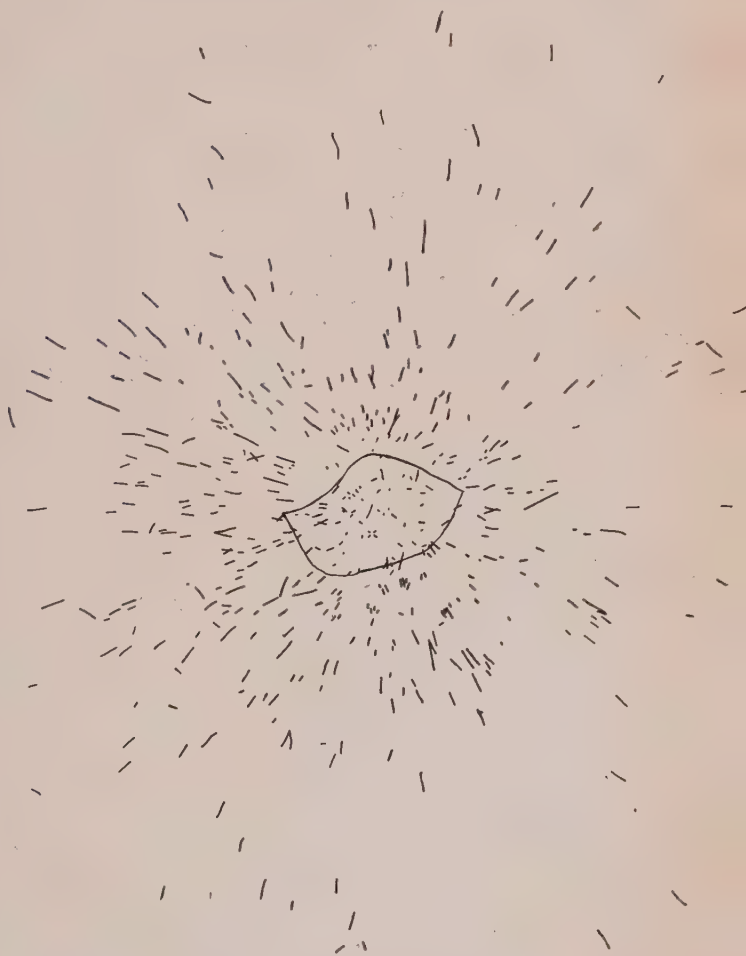


FIG. 25. — Calque des trajectoires données par le cristal l (granite de Bretagne de M. Demay). Le cristal bien appliqué sur l'émulsion a donné des rayons qui permettent la détermination de son contour.

de la tache. Ceci a une grande importance pour la détermination du rapport $\frac{C_{Th}}{C_U}$.

§ 30. — **Mesure du rapport des concentrations
en thorium et en uranium.**

Nous avons été frappés (fig. 27), en examinant les traces des
articules α données par les précédentes inclusions de consta-



26. — Une inclusion (n° 3, granite de M. Demay) séparée de l'émulsion
par une mince couche inactive donne des rayons α disposés en étoile. Il
est pratiquement impossible de déterminer le contour du cristal (dessiné au
centre).

ter le nombre relativement grand des rayons du thorium C'. La mesure des longueurs des rayons α des concentrations les plus importantes nous a donné les résultats que nous indiquons dans le tableau suivant :

Origine	N ^{os} des inclusions	v_1	v_2	$\frac{v_2}{v_1}$	$\frac{C_{Th}}{C_U}$
Granite de Bretagne. (Collection De M. Demay.)	1	12	8	0,65	∞
	1	11	11	1	16
	2	17	18	1	16
	2	65	51	0,54	24
	5	12	12	1	16
	5	11	9	0,82	160
Origine	N ^{os} des inclusions	v_1	v_2	$\frac{v_2}{v_1}$	$\frac{C_{Th}}{C_U}$
Granite d'Angers	1	16	16	1	16
	2	57	38	0,66	∞
	3	40	28	0,7	∞
	4	28	25	0,89	36

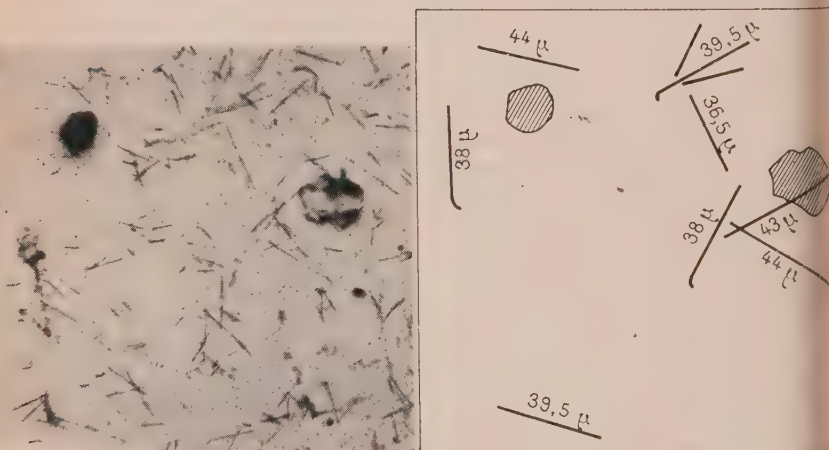


FIG. 27. — Inclusion à faible teneur en thorium. La mesure des longueurs des trajectoires montre un grand nombre de trajectoires mesurant plus de 7 cm. d'air et appartenant sans aucun doute au thorium C'.

Comme nous l'avons fait remarquer au paragraphe 3 les résultats obtenus par cette méthode ne peuvent être très précis parce que

nombre des trajectoires observées n'est pas assez grand. Ils montrent cependant que les cristaux examinés contiennent une très forte proportion de thorium et peu ou pas d'uranium. On peut, croyons-nous, admettre qu'ils ne contiennent que du thorium.

§ 31. — Teneur en thorium de ces inclusions.

Les dimensions des cristaux et leur teneur en matières radioactives sont variables. Les mesures ont été faites en admettant qu'ils ne contiennent que du thorium. Nous avons choisi pour la valeur $K' = 20$ qui correspond à peu près au coefficient d'absorption des zircons. Cette valeur ne pourra être précisée que lorsque l'analyse chimique des cristaux aura été faite. Les résultats obtenus sont consignés ci-après :

Origine	Inclusion	N	$C_{Th} \times 100$	Surface (en mm^2)
Granite de Bretagne (Collection M. Demay).	1	0,45	1,3	0,16
	2	0,40	1,2	0,47
	3	0,31	0,94	0,015
	4	0,50	1,5	0,08
	5	0,15	0,45	0,27
Origine	Inclusion	N	$C_{Th} \times 100$	Surface (en mm^2)
Granite d'Angers	1	0,53	1,0	0,5
	2	0,8	2,4	1,02
	3	0,74	2,2	1,2
	4	0,7	2,1	1,4
Granite de Locmalo	1	0,17	0,45	0,45

Ces résultats montrent que la teneur en thorium est variable non seulement d'une roche à une autre, mais d'un cristal à un autre dans la même roche. Elle reste cependant toujours du même ordre de grandeur, soit 1 ou 2 %.

Des travaux indépendants effectués par Poole et Bremner annoncent, dans un granite, l'existence de cristaux brun jaunâtre dont certains émettent des rayons α . Ces cristaux seraient

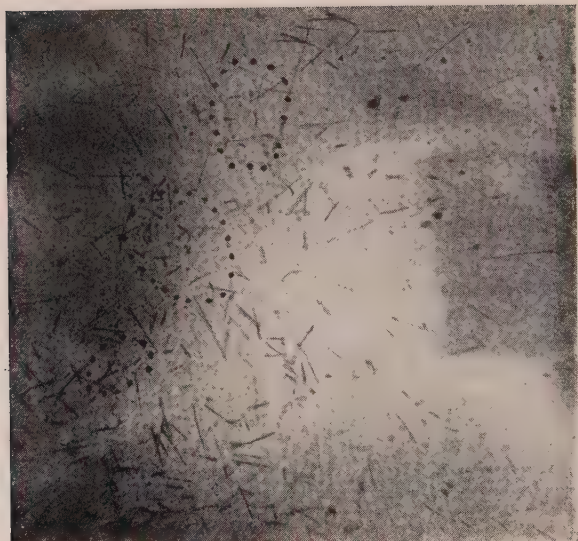


FIG. 28. — Trajectoires données par un cristal contenant une faible proportion de thorium.

On voit que la répartition de la radioactivité n'est pas uniforme. Sur cette photographie, certains rayons semblent être issus de quelques centres assez bien définis. L'emplacement d'un centre se remarque en effet facilement par l'aspect des trajectoires ; à cet endroit, elles sont émises à peu près perpendiculairement à l'émulsion et se présentent sous la forme de petits traits courts et non au point sur tout leur parcours. Nous avons dessiné sur le calque de la 1^{re} photographie :

en pointillé : les principaux centres d'émission,

en traits pleins : les trajectoires qui semblent provenir de l'un des centres les plus importants.

es inclusions de mélanite ou de porovskite. Ces auteurs n'ont pas cherché à déterminer le rapport des concentrations en thorium et en uranium et, en admettant leur radioactivité due uniquement à l'uranium en équilibre avec leurs dérivés, ils ont pu calculer une teneur moyenne de 0,3 % d'uranium. Les examens ultérieurs montraient que ces cristaux contiennent seulement du thorium, leur concentration en thorium était :

$$\frac{0,3 \times 8,6}{1,92} = 1,3 \text{ \% de thorium.}$$

Cette teneur correspond très exactement à celle que nous avons trouvée et il est possible que les cristaux mentionnés par Steele et Bremner soient identiques aux nôtres.

§ 32. — Répartition de la radioactivité à l'intérieur des cristaux.

À l'intérieur des cristaux la radioactivité n'est pas uniforme. La simple observation des trajectoires des rayons émis par certaines inclusions (fig. 24 par exemple) montre que souvent les rayons s'échappent en étoile des petites surfaces.

Très souvent 3, 4 ou 5 rayons semblent issus d'un même point. Il s'agit, sans doute, de filiations radioactives. En effet, un atome ayant duré au minimum 5 jours, si un atome de radiothorium émet une particule en donnant du thorium X, nous avons de grandes chances d'obtenir l'émission de 5 rayons, car plus de celui du radiothorium, nous aurons ceux des éléments à vie courte suivants : thorium X (3,64 jours), thoron (4,5 sec.), thorium A (0,14 sec.), et thorium C (60,5 min.) ou thorium C' (10^{-6} sec.). L'atome émetteur ne se trouvant généralement pas sur la plaque, mais au-dessus, les rayons ne sont pas concourants, mais on trouve facilement l'origine par extrapolation des directions.

Parfois cependant, on peut remarquer un certain nombre de rayons α plus grands que 5 (de 6 à 13) qui semblent s'échapper d'une petite surface. Il est difficile de se rendre compte si l'on s'agit de 2 ou 3 atomes de radiothorium voisins émettant

des rayons par filation radioactive ou s'ils s'agit de grains radioactifs inclus. En admettant cette dernière hypothèse, nous avons essayé de déterminer la concentration en thorium des

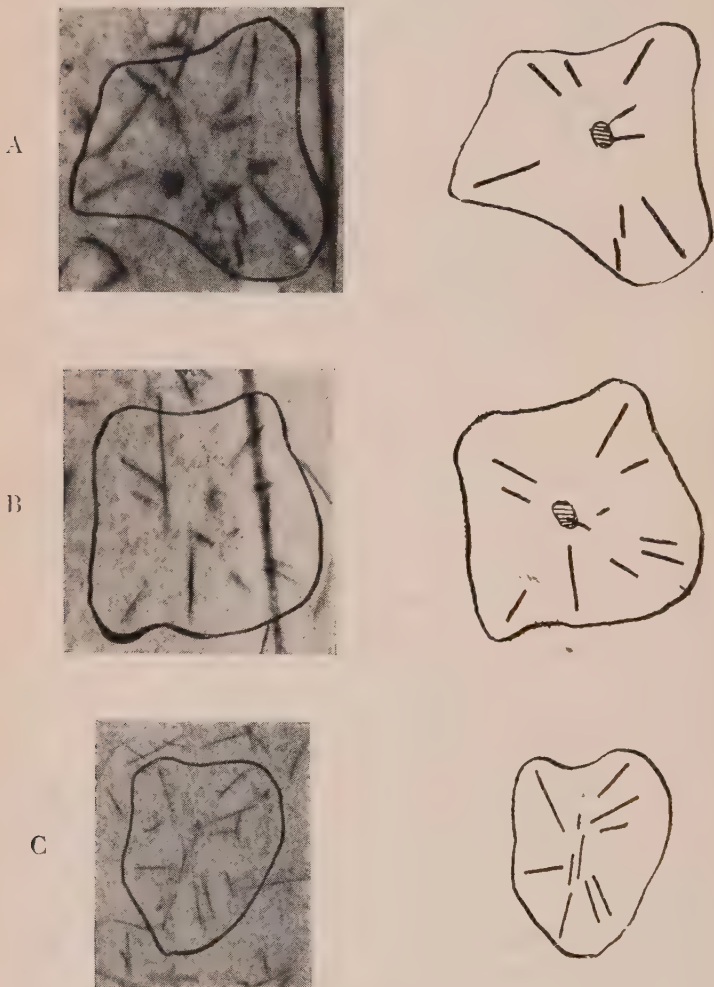


FIG. 29. — A. B. C. — Photographie montrant la répartition non uniforme de la radioactivité dans un cristal à faible teneur en thorium. Un certain nombre de trajectoires semblent provenir de petites surfaces nettement définies.

ains qui émettraient le même nombre de rayons. Voici les résultats de 2 mesures faites sur les inclusions du granite de Bretagne :

Cristal 4 : 12 trajectoires semblent s'échapper en 414 heures
sur une surface de 38 μ^2 .

$$N = 21 \quad C_{Th} = 53 \text{ \%}.$$

Cristal 3 : 8 trajectoires semblent s'échapper en 414 heures
sur une surface de 24 μ^2 .

$$N = 24 \quad C_{Th} = 57 \text{ \%}.$$

De nombreuses mesures du même genre ont donné les résultats rassemblés dans le tableau suivant :

N	$C_{Th} K'$	C_{Th}	N	$C_{Th} K'$	C_{Th}
21	10,9	53	24	12,5	57
20	10,4	52	33	17,2	68
46	24	80	29	16	64
29	16	64	46	24	80
17	9	45	48	25	82
49	25,2	83	23	12	55
40	21	75	39	20,5	70
45	23,5	78	49	25,2	83
40	21	75	42	22	77
26	16	58	48	25	82

La moyenne des résultats atteint la valeur de 69 %, ce qui se suppose que les grains radioactifs inclus ont, s'ils existent, une forte teneur en thorium, teneur qui correspond à peu près à celle de la thorite ThO_2 , SiO_2 (71 %).

CHAPITRE VIII

RÉPARTITION DE LA RADIOACTIVITÉ DANS QUELQUES ROCHES POLIES

Nous avons essayé de nous rendre compte de l'activité existant dans les roches en dehors des inclusions mentionnées précédemment. Nous avons en particulier étudié 3 échantillons de granite : celui de M. Demay, celui de la région d'Angers et celui de Lignole-en-Vannes (Morbihan).

§ 33. — Granite de Bretagne.

Nous reproduisons (fig. 30) le contour de la surface de cet échantillon et la position des principales inclusions.

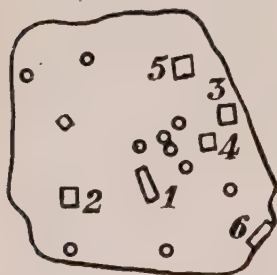


FIG. 30. — Répartition de la radioactivité dans les roches. Échantillon de granite poli. Granite de Bretagne (Coll. de M. Demay). Grandeur naturelle.

- Inclusions à forte teneur en uranium,
- Inclusions à faible teneur en uranium,
- Inclusions à forte teneur en thorium,
- Inclusions à faible teneur en thorium.

En étudiant la teneur globale en matières radioactives (§ 20) à l'aide de la roche polie et de la roche pulvérisée, nous avons trouvé environ 0,0070 trajectoire par heure et par champ de microscope, ce qui donne par cm^2 et par seconde une émission d'environ $N = 0,0020$ trajectoire.

D'autre part, nous avons déterminé le nombre des rayons émis par cm^2 et par seconde par les principales inclusions et nous avons évalué leur surface approximative. Nous pouvons donc calculer le nombre de rayons émis par seconde par les inclusions examinées :

Nous trouvons :

1° *Inclusions à forte teneur en uranium (a) :*

$$N = 200 \quad S = 4,9 \cdot 10^{-5} \text{ cm}^2$$

d'où

$$n_1 = 200 \times 4,9 \cdot 10^{-5} = 0,0098.$$

2° 10 inclusions à faible teneur en uranium :

$$N = 5 \quad \text{Surface totale } 7. 10^{-5} \text{ cm}^2$$

$$N_2 = 5 \times 7. 10^{-5} = 0,00035.$$

3° Grandes inclusions à faible teneur en thorium :

$$\text{inclusion 1} \quad 0,43 \times 0,0016 = 0,000688$$

$$\text{— 2} \quad 0,40 \times 0,0047 = 0,00188$$

$$\text{— 3} \quad 0,31 \times 0,00015 = 0,000046$$

$$\text{— 4} \quad 0,5 \times 0,0008 = 0,00040$$

$$\text{— 5} \quad 0,15 \times 0,00027 = 0,000405$$

$$\text{— 6 et 7} \quad 0,7 \times 0,0013 = 0,00052$$

Et au total :

$$n_3 = 0,00394.$$

En dehors de ces inclusions, l'examen d'une plaque obtenue par une pose de 240 heures montre un certain nombre de trajectoires isolées ou groupées par 3 ou 4. On trouve en moyenne 0,050 trajectoire par champ de microscope, ce qui donne par cm^2 et par seconde environ 0,00082 trajectoire. Comme l'échantillon a une surface d'environ $9,8 \text{ cm}^2$, on peut mettre qu'il y a par seconde, en dehors des inclusions, émission de $0,00082 \times 9,8 = 0,0081$ trajectoire. Il y a donc, au total, pour $9,8 \text{ cm}^2$:

$$0,0098 + 0,00035 + 0,00394 + 0,0081 = 0,02219$$

trajectoire par seconde, soit par seconde et cm^2 :

$$0,02219/9,8 = 0,0022$$

qui correspond bien à la valeur de 0,002 trouvée précédemment (§ 22).

De ce calcul nous pouvons déduire que sur 0,02219 trajectoire, il y en a

$$0,0098 + 0,00035 + 0,00394 = 0,01409$$

qui sont émises par les inclusions étudiées, soit environ $141/100 = 63 \%$.

Nous devons cependant remarquer que si la roche polie n'est pas très plane ou si l'émulsion photographique n'a pas une

épaisseur constante, il peut se trouver en certains endroits entre l'émulsion et la plaque une mince couche d'air. En ce cas, des rayons α peuvent s'inscrire très loin de leur origine et des trajectoires que l'on considère comme isolées doivent normalement être rattachées à une inclusion.

Notons encore qu'en dehors des inclusions la répartition des traces n'est pas homogène. On peut observer parfois 50 ou 100 champs de microscope sans découvrir un seul rayon α et trouver tout à coup 4 et 5 rayons groupés. Il s'agit là sans doute d'une inclusion à très faible radioactivité ou d'une inclusion d'activité moyenne mais de très petites dimensions.

L'étude des inclusions nous montre que les inclusions à uranium émettent $0,0098 + 0,00035 = 0,01015$ trajectoire et que les inclusions à thorium en émettent 0,00394. On sait que le nombre de rayons visibles émis par l'uranium est 8,6 $C_u K'$ et que celui des rayons émis par le thorium est 1,92 $C_{Th} K'$. Il en résulte que le rapport des concentrations C_{Th}/C_U en thorium et en uranium déduit de la composition des inclusions étudiées est :

$$\frac{C_{Th}}{C_U} = \frac{394}{1,92} : \frac{1015}{3,6} = 1,8.$$

Ce rapport est inférieur à celui trouvé précédemment (§ 19) et qui est égal à 2,8, mais reste néanmoins du même ordre de grandeur. Ce résultat tendrait à prouver que les trajectoires isolées seraient en grande partie dues à du thorium. La vérification n'est guère possible, car la mesure des longueurs d'un grand nombre de trajectoires isolées est rendue très difficile par le fait même de leur dissémination.

§ 34. — Granite d'Angers.

Nous avons étudié la radioactivité de ce granite à l'aide d'un échantillon beaucoup plus grand que le précédent. Nous avons à notre disposition une plaque polie rectangulaire de 10 cm. \times 7,3 cm. Pour faciliter le repérage des inclusions nous avons brisé cette plaque en plusieurs morceaux dont nous

roduisons les contours sur la fig. 31. Nous indiquons également sur cette figure la position des principales inclusions. La partie (angle gauche) a été réservée et la roche polie. La droite représente une surface de 60 cm^2 .

Nous pouvons calculer, comme pour le granite de Bretagne, le nombre de rayons émis par unité de surface. Sur cette surface, nous avons trouvé :

3 inclusions à forte teneur en uranium

b, d) $N = 200$

surface totale approximative $14,10^{-5} \text{ cm}^2$

$$200 \times 14,10^{-5} = 0,028.$$

2 inclusions à faible teneur en uranium

3 surface = $4,10^{-6} \text{ cm}^2$

$$5 \times 4,10^{-6} = 0,000020.$$

1 inclusion à forte teneur en thorium

33 $S = 15,10^{-5} \text{ cm}^2$

$$= 33 \times 15,10^{-5} = 0,005.$$

4 inclusions à faible teneur en thorium

$$\text{inclusion 1 } 0,33 \times 0,005 \text{ cm}^2 = 0,00165$$

$$\text{— 2 } 0,8 \times 0,0102 \text{ cm}^2 = 0,00816$$

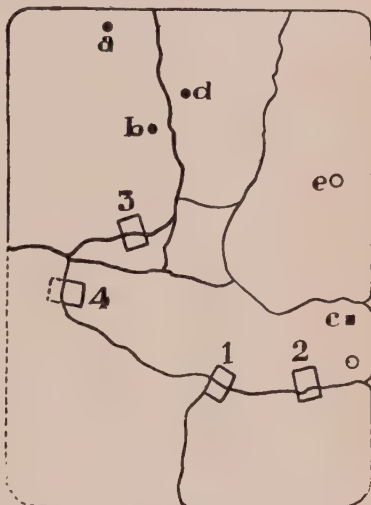
$$\text{— 3 } 0,74 \times 0,012 \text{ cm}^2 = 0,00888$$

$$\text{— 4 } 0,7 \times 0,014 \text{ cm}^2 = 0,00980$$

total

$$n_4 = 0,02849.$$

En dehors des inclusions se trouvent quelques trajectoires qui semblent isolées. Les mesures ont été faites sur une plaque



Angers

FIG. 31. — Échantillon de granite poli. Granite d'Angers.

Mêmes conventions que ci-dessus. On remarque que les inclusions à faible teneur en Th sont sur les lignes de rupture.

qui a donné pour les inclusions fortes des impressions bien nettes, c'est-à-dire une plaque qui a eu pendant la pose un contact bien assuré avec la roche. Le calcul nous donne alors en moyenne en dehors des inclusions 0,00045 trajectoire par seconde et par cm^2 soit pour l'ensemble de l'échantillon

$$n_s = 0,00045 \times 60 = 0,0270.$$

Au total, pour 60 cm^2 , il y a donc émission de $0,028 + 0,000020 + 0,005 + 0,02849 + 0,027 = 0,08851$ trajectoire, soit par seconde et par cm^2 :

$$N = 0,08851/60 = 0,00147$$

ce qui donne une teneur légèrement inférieure à celle de l'échantillon précédent.

On constate que pour :

$0,028 + 0,000020 + 0,005 + 0,02849 = 0,06151$ trajectoire émise par les inclusions étudiées, il y a $0,027$ trajectoire isolée. L'activité des inclusions représente donc :

$$\frac{615}{615 + 270} = 0,69, \text{ soit } 69 \% \text{ de l'activité totale.}$$

Nous ferons cependant, à propos de ce calcul, les mêmes réserves que précédemment.

D'autre part, on voit que les inclusions donnent :

$0,028 + 0,00002$ rayon provenant de l'uranium pour $0,02849 + 0,005 = 0,0335$ rayon provenant du thorium. Il en résulte que le rapport des concentrations en thorium et en uranium pour l'ensemble des inclusions étudiées est :

$$\frac{C_{\text{Th}}}{C_{\text{U}}} = \frac{335}{1,92} : \frac{380}{8,6} = 5,4.$$

Ce rapport est très supérieur à la moyenne trouvée pour les autres roches, sans toutefois dépasser les limites indiquées par d'autres auteurs. Ce résultat pourrait faire penser que tous les rayons isolés proviennent de l'uranium. En ce cas, le rapport devient 2,7, ce qui est plus conforme aux valeurs trouvées antérieurement. On peut se demander également si le polissage de la roche, polissage effectué sans précautions spéciales

un granitier, n'a pas arraché à cette dernière un certain nombre de petites inclusions placées en surface. À propos de la répartition de la radioactivité à l'intérieur de la roche, nous devons signaler un fait particulier qui a attiré votre attention. Comme nous l'avons dit au début de ce paragraphe, nous avons dû briser la roche en plusieurs morceaux afin de faciliter son étude. Nous l'avons fait en donnant un coup de marteau au centre du côté de la face non polie. L'étude photographique montre alors que les grosses inclusions à forte teneur en thorium (§ 28) se trouvent toutes à cheval sur les lignes de rupture (voir fig. 31). On peut alors se demander si les cristaux radioactifs se sont formés aux endroits fragiles de la roche, inversement, la résistance de la roche n'a pas été affaiblie par la présence de ces cristaux ou par des phénomènes de radioactivité.

— Granite de Lignole et Micaschiste de Quiberon.

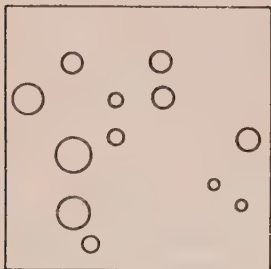
Nous n'avons pu, pour le granite de Lignole, étudier la répartition en dehors des inclusions, car la roche mal polie ne se applique pas exactement sur l'émulsion. Il en résulte que les traces des trajectoires rayonnent et se dessinent parfois en bordure des inclusions.

Nous voulons cependant signaler que la répartition de la radioactivité dans ce granite est complètement différente de la répartition dans ceux étudiés précédemment. Au lieu de voir des inclusions (dont certaines ont des dimensions de l'ordre de 1 cm^2) assez éloignées les unes des autres, nous nous trouvons ici en présence d'un très grand nombre d'inclusions très petites et très voisines. On en compte en moyenne 10 ou 12 par centimètre carré, et leurs dimensions sont de l'ordre de celles signalées au paragraphe 25, soit de 1.000 à 6.000 μ^2 (cf. 32).

Parmi elles on distingue des inclusions à faible teneur en uranium et à faible teneur en thorium, mais toutes ne peuvent être analysées en raison de leurs petites dimensions et de leur distance à la plaque. La figure représente 1 cm^2 de plaque

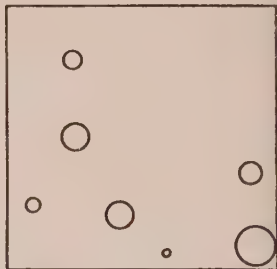
avec la place des inclusions. La grandeur du cercle indique à peu près l'importance de l'activité.

Le micaschiste de Quiberon, qui n'a pas été poli, car la roche, trop tendre, ne le permet pas, mais seulement dressé, montre une répartition de la radio-activité analogue mais dans l'ensemble moins importante. On ne compte en effet en moyenne que 5 ou 6 inclusions par cm^2 (fig. 33). Les dimensions des inclusions semblent être du même ordre de grandeur que celles du granite de Lignole, soit quelques milliers de μ^2 .



Lignole (*granite*)

FIG. 32. — Échantillon d'un granite de Lignole (Morbihan). Représentation de 1 cm^2 de plaque. Les dimensions relatives des cercles correspondent aux activités relatives des inclusions.



Quiberon (*micaschiste*)

FIG. 33. — Échantillon d'un micaschiste de Quiberon (Morbihan). Représentation de 1 cm^2 de plaque. Mêmes conventions que ci-dessus.

CHAPITRE IX

ÉTUDE DES INCLUSIONS RENCONTRÉES DANS LES ROCHES PULVÉRISÉES

§ 36. — Grains radioactifs placés sur l'émulsion.

L'étude des plaques impressionnées par des roches pulvérisées nous conduit, ce qui est normal, à la découverte de cristaux radioactifs semblables à ceux rencontrés dans les roches polies.

Certains, très actifs, ont pu être identifiés avec certitude comme ceux à très forte concentration en thorium trouvés

ns le sable de Pénestin et le concentré du granite de Bre-
gne que nous avons signalés au paragraphe 25.

Généralement cependant, l'identification est très difficile,
non impossible. Les grains sont en effet très petits, leur
surface varie de quelques dizaines à quelques centaines de
microns carrés et ils n'émettent de ce fait qu'un nombre res-
treint de rayons α .

Lorsque le grain radioactif est sur l'émulsion, ce qui est très
rare, la mesure de l'activité globale peut se faire dans d'assez
bonnes conditions (fig. 34). Les trajectoires dessinent approxi-
mativement le contour du cristal dont on peut évaluer la sur-
face avec une précision suffisante. Connaissant d'autre part le
temps de pose et le nombre de rayons émis, il serait possible
de déterminer les concentrations en uranium et en thorium si
l'on connaissait, au moins approximativement, le rapport
 C_{Th}/C_U . Or ce rapport ne peut être déterminé en raison du
nombre restreint des trajectoires. En effet une pose courte ne
peut donner qu'un très petit nombre de rayons, une pose
longue donne un nombre plus grand, mais comme la surface
est très petite, on arrive rapidement à un enchevêtrement de
trajectoires et l'évaluation des longueurs ne peut se faire de
façon satisfaisante. D'ailleurs la meilleure des inclusions pla-
cées sur l'émulsion nous donne 72 trajectoires en 18 jours. En
trois mois, limite pratiquement imposée par le fading, on en aurait
environ 350, ce qui est encore insuffisant pour une détermina-
tion sérieuse du nombre des rayons de parcours supérieurs à
1 cm. d'air et compris entre 5,8 et 7 cm.

Il n'y a qu'un moyen d'arriver à ce résultat, c'est d'isoler le
grain radioactif intéressant et d'obtenir, avec toute une série
de poses courtes, des photographies qui permettraient la mesure
d'un grand nombre de rayons nettement définis et provenant
d'une même source. Ceci ne pourrait être obtenu que par
l'emploi de frottis à grains très espacés qui permettraient
après la mise en évidence de la radioactivité d'un grain de
distinguer celui-ci et de l'isoler.

Dans les calculs qui suivent, nous admettons que les grains
contiennent soit de l'uranium, soit du thorium et nous donnons

les teneurs dans les 2 cas. D'après les observations faites avec les roches polies, ceci semble en général très près de la réalité, car nous n'avons jamais rencontré de cristaux contenant à la

fois uranium et thorium avec des teneurs du même ordre de grandeur. Les seuls cristaux mixtes contenaient en effet 70 % d'uranium et quelques centièmes de thorium au maximum.

Nous déterminerons donc le nombre N des rayons α émis par cm^2 et par seconde et nous appliquerons successivement les deux formules :

$$8,6 C_U K' = N$$

$$\text{et } 1,92 C_{Th} K' = N$$

qui donneront les produits

$C_U K'$ et $C_{Th} K'$ et le graphique du § 8 fixera immédiatement les teneurs C_U et C_{Th} .

Les résultats obtenus par l'étude de quelques inclusions placées sur l'émulsion sont indiquées ci-après :

ORIGINE	TEMPS DE POSE (EN JOURS)	NOMBRE DE RAYONS	SURFACE D'ÉMISSION	N	C_U ou C_{Th}	
Micaschiste	7	28	90	61	0,38	0,90
de	18	33	53	88	0,48	?
Quiberon	18	72	46	74	0,43	?
Sable	9	46	93	63	0,39	0,92
La Trinité-sur-mer	9	6	33	24	0,18	0,57

Les 4 premières inclusions ont des teneurs à peu près égales, soit environ 40 % d'uranium ou 90 à 100 % de thorium. Il semble logique de ne pas les considérer comme formées uniquement de thorium, car la concentration semble exagérée,

tyde de thorium ne contenant que 84 % de thorium. D'autre part, si leur teneur en thorium était si élevée, on devrait trouver, sur les 179 trajectoires examinées, quelques trajectoires surant plus de 7 cm. d'air et les mesures faites n'ont pas permis d'en déceler une seule. Nous pouvons donc admettre qu'elles renferment de l'uranium avec peu ou pas de thorium. Les grains radioactifs pourraient provenir d'inclusions à faibles teneurs en uranium dont nous avons parlé au paragraphe 28 et dont l'activité n'est pas uniforme.

§ 37. — Grains radioactifs séparés de l'émulsion par une mince couche inactive.

Les photographies montrant l'inclusion au contact de l'émulsion sont très rares. Généralement le grain radioactif se trouve séparé de celle-ci par une mince couche d'air ou une couche inerte (fig. 35). Il est cependant encore souvent possible, en longeant les trajectoires les plus fines de la source de déterminer approximativement le contour du cristal émetteur. Nous donnons ci-dessous les résultats obtenus avec quelques inclusions dont les trajectoires, bien que non concourantes, s'éloignent pas trop d'un centre d'émission unique.

L'inclusion 1 avec 75 % d'uranium semble être de même nature que les cristaux riches en uranium déjà examinés au paragraphe 26.

Les inclusions 2 et 3 paraissent formées de grains radioactifs des cristaux à faible teneur globale en uranium mentionnée au paragraphe 28. Il en est peut-être de même de l'inclusion 4.

Celles qui portent les numéros 5, 6, 7, 8, 9 peuvent être comme les précédentes issues de cristaux à faible teneur globale en uranium, mais peuvent aussi provenir de cristaux à

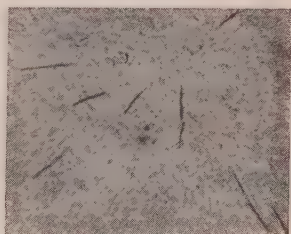


FIG. 35. — Grain radioactif séparé de l'émulsion, au moment de la pose par une mince couche inactive.

faible teneur en thorium. Nous devons cependant remarquer que seule l'inclusion trouvée dans le granite du Faouët a donné naissance à une trajectoire de plus de 7 cm. d'air.

ORIGINE	TEMPS DE POSE	NOMBRE DE RAYONS	SURFACE D'ÉMIS- SION	N	C _U	C _{Th}	OBS.
1. Granite Ro- se. Roscan- vel.....	140 h.	13	12	192	0,75	?	
2. Granite Bretagne...	340 h.	17	20	68	0,55	?	
3. Granulite Quiberon...	7 j.	11	33	65	0,55	?	
4. Granite Bretagne...	340 h.	20	32	50	0,35	0,85	
5. Micaschiste Quiberon...	18 j.	5	9	36	0,25	0,70	
6. Granite Le Faouët.....	140 h.	38	210	35	0,25	0,69	
7. Granulite Arradon....	120 h.	22	200	34	0,25	0,69	1 tra. de 40 μ
8. Granulite. Roscanvel..	140 h.	12	72	33	0,24	0,68	
9. Micaschis- te Quiberon.	18 j.	20	35	15	0,13	0,42	

§ 38. — Grains radioactifs à plusieurs centres d'émission.

Enfin certains grains, sans doute plus gros que les précédents, émettent des rayons qui ne partent pas d'une seule petite surface radio-active, mais qui, au contraire, sont issus de plusieurs centres. Ces aspects se rencontrent surtout dans l'examen des plaques impressionnées par les sables naturels. Elles sont plus rares et moins nettes sur les plaques obtenues avec les roches pulvérisées par nos soins. Il s'agit certainement d'une question de grosseur de grains.

L'identification des cristaux émetteurs, sans être absolue, est évidemment beaucoup plus facile qu'avec les très petites inclusions. Il y a donc, pour cette raison encore, intérêt à ne pas pulvériser les roches trop finement.

La mesure du nombre de rayons émis par cm² et par seconde est assez facile, car si la plage est assez étendue, il suffit de

essiner, au centre de la photographie, une figure géométrique simple ayant une surface facilement calculable et de compter le nombre de trajectoires qu'elle renferme. On peut même, sans prendre de photographies ni de calques, se contenter d'évaluer le nombre de rayons visibles dans le champ du microscope. L'erreur introduite est uniquement une erreur de statistique, celle provenant de l'appréciation du contour du cristal est supprimée. Elle peut être cependant assez grande en raison du nombre réduit des trajectoires. Ces inclusions se classent nettement en 2 catégories, comme l'indique le tableau suivant.

ORIGINE	SURFACE EXAMINÉE (en μ^2)	NOMBRE DE RAYONS	TEMPS DE POSE	N	C _U ou C _{Th}		OBSERVATIONS
Gabbro. Plage des « Américains ». Trinité-s.-mer.....	3.000	41	70 h.	3,2	0,14	0,50	Aucune trajectoire
Granulite (Grav'Inis. Golfe du Morbihan..)	10.000	72	100 h.	2	0,02	0,07	de plus de 7 cm. d'air.
Gabbro. Pédestin. Morbihan.....	12.000	106	72 h.	3,2	0,14	0,50	
Granite de Lignole. Morbihan.	6.000	54	95 h.	0,26	0,002	0,01	6 trajectoires de plus de 7 cm. d'air.
Micaschiste de Quiberon.....	2.500	10	18 j.	0,25	0,002	0,01	3 trajectoires de plus de 7 cm. d'air.
Granite rose. Roscanvel.	10.000	12	140 h.	0,25	0,002	0,01	10 trajectoires de plus de 7 cm. d'air sur 100.

Les 3 premières inclusions émettent 2 ou 3 rayons par cm^2 et par seconde. Sur 219 trajectoires observées nous n'en avons pas trouvé une seule ayant un parcours supérieur à 7 cm. d'air. Ces inclusions peuvent être sans doute assimilées à celles étudiées dans le paragraphe 28 (Inclusions à faible teneur en uranium).

Les 3 dernières, au contraire, émettent en moyenne 0,25 trajectoire par cm^2 et par seconde. On observe en outre un grand nombre de rayons du thorium C'. Ce sont donc des cristaux semblables à ceux mentionnés dans le paragraphe 31 (Inclusions à faible teneur en thorium).

CHAPITRE X

LA RADIOACTIVITÉ DU SABLE DES PLAGES DE LA RIVIÈRE DE CRAC'H (MORBIHAN)

§ 39. — Variation de l'activité avec la situation de la plage.

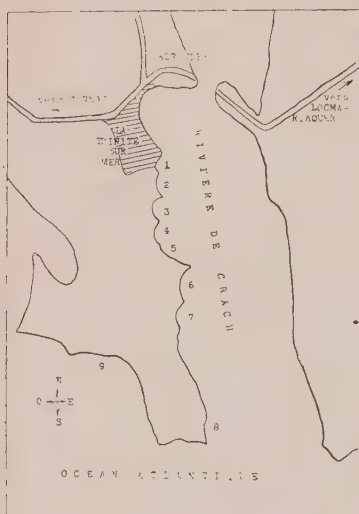


FIG. 36. — Carte des plages
de la rivière de Crac'h.

Par suite d'une lévigation naturelle, le sable de la plage des Demoiselles à Penestin (Morbihan) se trouve formé, en grande partie, d'éléments lourds (cassitérite, or natif, magnétite, etc.). Il était donc naturel d'y rencontrer les cristaux radioactifs généralement inclus dans les roches. Nous avons plusieurs fois mentionné la radioactivité de ce sable.

Cette concentration naturelle d'éléments radioactifs sur certaines plages ne semble pas particulière aux rivages de la Vilaine sur lesquels se trouve

énestin, et nous avons mis en évidence un phénomène du même genre sur ceux de la rivière de Crac'h (Morbihan).

(Celle-ci n'est alimentée que par un ruisseau, mais la mer monte assez loin dans les terres et l'influence de la marée fait sentir à plusieurs kilomètres. De la Trinité-sur-mer à l'océan, s'étalent sur 3 kilomètres un grand nombre de petites plages de 100 à 300 mètres de long séparées par des pointes rocheuses. Sur l'océan même se trouve la plage de Kervilaine (fig. 36).

La mesure, par l'impression d'une émulsion photographique de la radioactivité du sable de ces plages, a donné les résultats caractéristiques suivants :

	Nombre de rayons émis par cm^2 et par seconde
Plage 1. — Poste des Douanes.....	0,08. 10^{-3}
— 2. —	0,10. 10^{-3}
— 3. — Plage des « Américains ».....	6. 10^{-3}
— 4. — Plage de Kerhino.....	0,06. 10^{-3}
— 5. —	0,11. 10^{-3}
— 6. — Plage de Coëtbihan.....	0,13. 10^{-3}
— 7. — Plage de Kerbihan.....	2. 10^{-3}
— 8. — Plage de Ty Gward.....	0,08. 10^{-3}
— 9. — Plage de Kervilaine.....	0,05. 10^{-3}

Le sable de la plage des « Américains » n'a pas une activité constante. La valeur donnée dans le précédent tableau est une moyenne. L'échantillon le plus actif a montré $14 \cdot 10^{-3}$ trajectoires par seconde et par cm^2 et le plus faible $2 \cdot 10^{-3}$ trajectoires. Les autres plages ont, au contraire, une activité régulière.

Dans l'ensemble on peut donc constater que le sable des « Américains » et celui de Kerbihan ont des teneurs en matières radioactives bien supérieures à celles du sable des plages voisines. Comme tous ces sables ont vraisemblablement la même origine et que les terrains en bordure sont identiques, on ne peut concevoir l'enrichissement que par une lévigation naturelle.

Notons que la plage de Kerbihan a perdu, il y a quelques années, sous l'action d'une forte marée, le sable dont elle était recouverte et qu'elle est actuellement faite de galets sous lesquels nous avons prélevé le sable étudié. Il est possible que lors de l'accomplissement de ce phénomène, les grains les plus lourds soient restés, ce qui expliquerait la forte teneur par rapport aux plages voisines.

§ 40. — **Nature des inclusions rencontrées dans les sables.**

Les inclusions radio-actives rencontrées dans les sables les plus riches sont de 2 types.

Type A : Aucune trajectoire de plus de 7 cm. d'air ou 38 p. d'émulsion [Th C']. Il s'agit sans doute d'inclusions à faible teneur en uranium (Quelques unités pour cent).

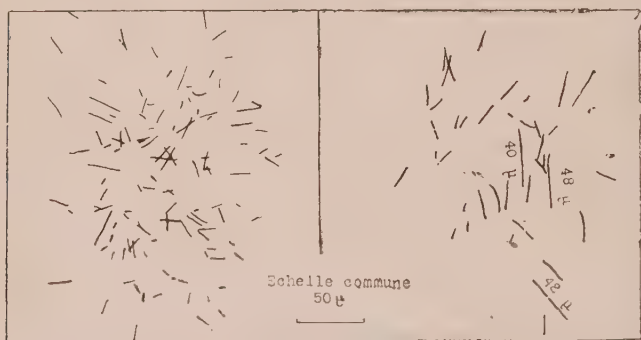


FIG. 37. — Les deux types d'inclusions radioactives contenues dans le sable de la plage des « Américains » à la Trinité-sur-mer (pose : 70 heures).

Type A : aucune trajectoire de plus de 7 cm. d'air pouvant être attribuée au Th C'. Sans doute inclusions à faible teneur en uranium (quelques unités pour cent).

Type B : plusieurs trajectoires de Th C'. Sans doute inclusions à faible teneur en Th (1 à 2 %).

Type B : Plusieurs trajectoires de thorium C'. Il s'agit sans doute d'inclusions à faible teneur en thorium (Ordre de 1 ou 2 %).

Il est difficile de déterminer dans ces sables le rapport

C_{Th}/C_U des concentrations en thorium et en uranium, car le nombre des trajectoires longues est réduit. Si l'on admet la valeur $C_{Th}/C_U = 3$ généralement adoptée pour les roches granitiques, les teneurs en matières radioactives des sables sont les suivantes :

Plage des Américains	$C_U = 2,58 \cdot 10^{-5}$	$C_{Th} = 7,7 \cdot 10^{-5}$
Plage de Kerbihan	$C_U = 0,86 \cdot 10^{-5}$	$C_{Th} = 2,6 \cdot 10^{-5}$
Autres plages	$C_U = 0,04 \cdot 10^{-5}$	$C_{Th} = 0,13 \cdot 10^{-5}$

CONCLUSIONS

L'étude de la radioactivité de quelques roches acides nous permet de tirer, pour ces roches, les conclusions que nous résumons ci-après :

1° Le rapport des concentrations en thorium et en uranium varie, en général, pour l'ensemble des roches étudiées entre 2 et 3. Il semble cependant y avoir quelques exceptions, pour lesquelles la proportion de thorium serait légèrement supérieure.

2° La concentration moyenne en matières radioactives est généralement de l'ordre de $0,75 \cdot 10^{-5}$ d'uranium et de $2,5 \cdot 10^{-5}$ de thorium. Quelques roches assez rares ont des teneurs nettement plus faibles, mais aucune n'a paru inactive. Certaines par contre dépassent la moyenne et atteignent 2 ou 3 fois ces valeurs.

3° La radioactivité des roches provient, en majeure partie (au moins 60 à 70 %) de cristaux radioactifs inégalement répartis dont la composition, les teneurs et les dimensions sont différentes. Nous avons cependant pu grouper toutes les inclusions observées en quatre catégories.

a) *Inclusions à forte teneur en uranium.*

Ces inclusions contiennent environ 70 % d'uranium et quelques centièmes de thorium. Leur surface est de l'ordre de quelques dixièmes de millimètres carrés.

b) *Inclusions à forte teneur en thorium.*

Ces inclusions contiennent environ 70 % de thorium et peu ou pas d'uranium. Leur surface, du même ordre de grandeur que celle des inclusions précédentes, est de quelques dixièmes de millimètres carrés.

c) *Inclusions à faible teneur en uranium.*

La teneur en uranium de ces inclusions est variable mais reste de l'ordre de quelques unités pour cent. Leurs surfaces, également variables, sont de quelques centaines à quelques milliers de microns carrés.

d) *Inclusions à faible teneur en thorium.*

Elles contiennent 1 ou 2 % de thorium et peu ou pas d'uranium. Leurs surfaces sont souvent très grandes par rapport à celles des précédentes inclusions, elles atteignent l'ordre du millimètre carré.

Ces cristaux mentionnés dans les paragraphes c et d n'ont pas une radioactivité uniforme. Ils semblent au contraire contenir des grains à forte teneur en matières radioactives, soit environ 50 % d'uranium pour les cristaux c et 70 % de thorium pour les cristaux d. La pulvérisation des roches met en évidence des inclusions très petites ayant des teneurs variables provenant sans doute de la dissociation des cristaux précédents.

BIBLIOGRAPHIE

INTRODUCTION

1. KINOSHITA, S. *Proc. Roy. Soc., A*, 83, 432, 1910. REINGANUM, *Physik. Z.*, 12, 1076, 1911. MUHLESTEIN, *Verh. Schweiss. Narkh. Ges.*, 101, 171, 1921. *Arch. Sc. Phy. et Nat.* (5), 5, 294, 1921. CHAMIE, *C. R. c. Sc.*, 184, 1943, 1937. 185, 770 et 1277, 1928. 208, 1300, 1939. 223, 854, 1946. *J. de Phys.* 10, 44, 1929. BLAU, *J. de Phys.*, 5, 61, 1934.
2. MYSSOWSKY, L. et TSCISHOW, P., *Z. Physik*, 44, 408, 1927. WALL, E. J., *Am. Photographic Publishing Comp.*, Boston, 1929. JDANOV, A., *J. Phys.*, 6, 233, 1935. *C. R. U. R. S. S.*, 20, 641, 1938. WILKINS, T. R., *J. App. Phys.*, 11, 35, 1940. WERB, J. H., *J. App. Phys.*, 11, 18, 1940. SHAPIRO, M. M., *Rev. Mod. Phys.*, 13, 58, 1941. BAKER, *Photographic emulsion technique*, *Am. Phot. Pub. Comp.*, Boston, 1941. POWELL, C. F., *Proc. Roy. Soc., A*, 181, 344, 1943. MEES, C. E. K., *Theory of the photographic process*. The Macmillan Comp., New-York, 1948. SHEPPARD, LAMBERT, SWINEHART, *J. chem. Phys.*, 13, 372, 1945. DEMERS, P., *Can. J. of Research*, V, 25, A. 223, 1945. OCCHIALINI et POWELL, *Nuclear Physics in Photogr.*, Oxford University Press.
3. TSIEN SAN TSIANG et CUER, *Cah. de Phys.*, 14, 61, 1943. TSIEN SAN TSIANG, CHASTEL, FARAGGI, VIGNERON, *C. R. Ac. Sc.*, 223, 571, 1946.
4. M^{me} I. CURIE, *J. de Phys.*, VIII, t. VII, n° 11, 1946.

CHAPITRE I

5. R. D. EVANS, *Phys. Rev.*, 1934, 45, p. 29. FINNEY, G. D. et EVANS, R. D., *Phys. Rev.*, 1935, 48, p. 503.

CHAPITRE IV

6. BLAU et WAKEACHER, *Zwiss. Phot.*, 31, 213, 1933. BLAU, *Sitzber. Akad. Wiss. Wien, Abt.*, 2 a, 134, 63, 1921. LAUDA, *Sitz. Akad. Wien Math. Nature. Klass.*, Abt., 2 a, 145, 1935, 107.
7. YAGODA et KAPLAN, *Phys. Rev.*, 71, 1947, 910. LA PALME et DEMERS, *Phys. Rev.*, 72, 1947, 536.
8. FARAGGI et ALBOUY, *C. R. Ac. Sc.*, 226, 717, 1948.

- OCCHIALINI et POWELL, *Nature*, 159, 1947, 186. YACODA, *Amer. Miner.*, 34, 1946, 87.
- FARAGGI et ALBOUY, *C. R. Ac. Sc.*, 228, 1949, 68.
- PERFILOV, *J. de Phys. U. R. S. S.*, 17, 1947, 910.
- MATHER, K. B., *Phys. Rev.*, V, 76, n° 4, 1949, 486.
- FARAGGI et ALBOUY, *C. R. Ac.*, 228, p. 68, 1949. *J. de Phys.*, S, VIII, t. X, n° 4, 1949.
- PICCIOTTO, *C. R. Ac.*, 228, 173, 1949. *C. R. Ac.*, 228, 247, 1949.
- MOTT et GURNEY, MITCHELL, 30, et *Ind. Photo*, 1948, n° 10, p. 361.
- K. MEES, *The theory of photographic process*, MacMillan Co, New-York, 1943.
- ELSTER. GEITEL.
- EVANS, R. D., *J. App. Phys.*, 12, 297-8, 1941. *Bull. Géol. Soc. Am.*, 52, 439, 1941.
- ROTHE E. et HEE A., *Ann. I. P. G.*, Strasbourg (1937), 3^e partie.
- URRY, W. D., *Am. J. Sci.*, 239, 191, 1941.
- COLY, *Nature*, 109, p. 517 et 578, 1922.
- PIGGOT, *Am. J. Soc.*, 17, p. 27, 1929.
- GOODMAN, C., *Am. Miner.*, 25, 208, 1940.
- GOODMAN, C., *Trans. Am. Geophys. Union*, 544-7, 1941.
- BARANOV, V. I. et KRETSCHMER. S. I. *C. R. U. R. S. S.*, 1, p, 543, 1935.
- GOODMANN, C., *J. App. Phys.*, 13. n° 5, 270, 1942.
- SS. A. HEE., *C. R. Ac. Sc.*, 227, 356, 1948. *Ann. Geophys.*, IV, 3, 242, 1948. PICCIOTTO, E. E., *Bull. Soc. belge de Géologie*, t. LVIII, fasc. I, 1949. POOLE, J. H. J. et BREMNER, J. W., *Nature*, 161, 884, 1948.

CHAPITRE V

- EVANS et GOODMAN, 1941, *Bull. Geol. Soc. of. Am.*, v. 52, p. 459.
- EVANS, GOODMAN, KEEVIL, LANE et URRY, 1939, *Phys. Rev.*, v. 55, p. 931. KEEVIL, N. B., KEEVIL, A. R., INGHAM et CROMBLE, 1943, v. 241, p. 345. NIER, 1938, *J. Am. Chem. Soc.*, v. 60, p. 1571.
- NIER, THOMPSON, MURPHEY, 1941, *Phys. Rev.*, v. 60, p. 112.
- HOLMES, 1937, *Econ. Geol.*, v. 32, p. 763. HOLMES, 1938, *Econ. Geol.*, v. 33, p. 829. KEEVIL, 1938, *Econ. Geol.*, v. 33, p. 685.
- KEEVIL, N. B., *Am. Jour. Sc.*, v. 237, p. 195.
- KEEVIL, N. B., 1943, *Jour. Géol.*, v. 51, p. 287. KEEVIL, N. B., 1944, *Am. Jour. Sc.*, v. 242, p. 309.

CHAPITRE VI

- Im^e CURIE. *Radioactivité*, § 147, p. 486, Hermann, éd.
- EVANS. *Phys. Rev.*, 1945, p. 38.
- KEEVIL, N. B. *Am. J. Sc.*, v. 36, 5^e sér., n° 216, 1938, p. 406.

25. KEEVIL, *Am. J. of Sc.*, v. 241, n° 6, 1943, p. 345.
26. DUROCHER, *CR. Ac. Sc.*, 1850, p. 902. KERFORNE, *Bull. Soc. Géol. et Min.*, Bretagne, t. III. fasc. IV, 1922, p. 328. C^{dt} HOUSSEMAINE, *Bull. Soc. Polym.*, Morbihan, 1940, p. 20.

CHAPITRE VII

26. J. H. J. POOLE et J. W. BREMNER, *Nature*, v. 163, p. 130. Jan. 22 1949.
-

R. COPPENS. *CR. Ac. Sc.*, 227, 61, 1948. *J. de Phys.*, VIII, t. X, n° 1, 1949. *J. de Phys.*, VIII, t. X, n° 2, 1949. *CR. Ac. Sc.*, 228, 176, 1949. *Bull. Soc. Sc. Bret.*, t. XXIII, 1948. *CR. Ac. Sc.*, 228, 1218, 1949. *CR. Ac. Sc.*, 228, 1938, 1949. *CR. Ac. Sc.*, 229, 617, 1949. *CR. Ac. Sc.*, 229, 1221, 1949. *CR. Ac. Sc.*, 229, 1319, 1949. *S. de Phys.*, t. II, janv. 1950.

TABLE DES MATIÈRES

INTRODUCTION.....	217
-------------------	-----

CHAPITRE I

Calcul du nombre de rayons visibles inscrits par cm^2 et par seconde sur une émulsion photographique par un corps radioactif.

— Nombre de rayons émis par cm^2 et par seconde par un corps radio-actif.....	221
— Évaluation du coefficient d'absorption.....	229
— Évaluation du rapport des concentrations en thorium et en uranium.....	230

CHAPITRE II

Expériences préliminaires.

— Méthode générale.....	232
— Influence de la grosseur des grains.....	233
— Influence du temps de pose.....	234
— Influence de l'activité du minéral.....	235

CHAPITRE III

Évaluation de la teneur en uranium et en thorium de quelques roches. Influence de cette teneur sur l'absorption.

— Détermination du coefficient d'absorption.....	237
— Teneurs en uranium et en thorium de quelques minerais.	242

CHAPITRE IV

Étude de la disparition de l'image latente dans la photographie des trajectoires des particules α .

— Méthode d'évaluation de la vitesse de disparition.....	244
— Résultats.....	245
— Influence de la nature de la plaque.....	251
— Influence de la température.....	253
— Influence de l'humidité.....	253
— Influence du borate de sodium sur la conservation de l'image latente.....	254
— Théorie de l'effacement.....	258

Étude de la radioactivité des roches.

§ 17. Exposé des buts recherchés.....	259
---------------------------------------	-----

CHAPITRE V

Rapport des concentrations en thorium et en uranium.

§ 18. — Mesure des longueurs des trajectoires.....	261
§ 19. — Résultats.....	264

CHAPITRE VI

Teneur globale en uranium et en thorium de quelques roches.

§ 20. — Principe de la méthode.....	266
§ 21. — Détermination du nombre moyen N de trajectoires visibles émises par cm ² et par seconde.....	266
§ 22. — Résultats.....	270

CHAPITRE VII

Étude des diverses inclusions rencontrées dans les roches étudiées.

§ 23. — Généralités.....	273
--------------------------	-----

A. — *Petites inclusions à très forte radio-activité.*

§ 24. — Origine.....	273
§ 25. — Inclusions à forte teneur en thorium.....	273
§ 26. — Inclusions à forte teneur en uranium.....	273
§ 27. — Aspect des inclusions sur la roche.....	283

B. — *Inclusions à faible teneur en uranium.*

§ 28. — Origine, dimensions et teneurs des inclusions à faible teneur en uranium.....	284
---	-----

C. — *Inclusions à faible teneur en thorium.*

§ 29. — Existence et méthode de localisation de ces inclusions...	287
§ 30. — Mesure du rapport des concentrations en thorium et en uranium.....	291
§ 31. — Teneur en thorium de ces inclusions.....	291
§ 32. — Répartition de la radioactivité à l'intérieur de ces cristaux.....	291

CHAPITRE VIII

Répartition de la radioactivité dans quelques roches polies.

— Granite de Bretagne.....	298
— Granite d'Angers.....	300
— Granite de Lignole (Morbihan) et Micaschiste de Quiberon.....	303

CHAPITRE IX

Étude des inclusions rencontrées dans les roches pulvérisées.

— Grains radioactifs placés sur l'émulsion.....	304
— Grains radioactifs séparés de l'émulsion par une mince couche inactive.....	307
— Grains radioactifs à plusieurs centres d'émission.....	308

CHAPITRE X

La radioactivité du sable de la rivière de Crach (Morbihan).

— Variation de l'activité avec la situation de la plage.....	310
— Nature des inclusions rencontrées dans les sables.....	312
INCLUSIONS	314
GEOGRAPHIE.....	316

NOTICE NÉCROLOGIQUE

ALEXIS DUFFOUR (1877-1948)

PAR L. CAPDECOMME,

Laboratoire de Minéralogie, Faculté des Sciences, Toulouse.

Alexis Duffour s'est éteint à Saint-Martory (Haute-Garonne), le 15 mars 1948, après une longue maladie qui l'immobilisait depuis plusieurs années. Il repose actuellement à Martres-Tolosane où il était né le 1^{er} mars 1877.

Dans ce bourg au riche passé gallo-romain, à quelques kilomètres d'Aurignac, dont Lartet avait déjà si fructueusement fouillé la grotte en 1860, Duffour prit de bonne heure le goût de l'observation. Il fit ensuite ses études secondaires au Collège voisin de Saint-Girons, au cœur même des Pyrénées, et toute sa vie fut marquée par un double attachement profond à la terre natale et à la Science des Minéraux et des Roches.

Bachelier à la fois brillant et exceptionnellement équilibré, il fut d'abord orienté vers l'École de Saint-Cyr. Il aimait à raconter comment un médecin trop pessimiste lui annonça de graves troubles visuels dont il ne s'est jamais ressenti et, lui fermant heureusement l'accès de l'École Spéciale militaire, le conduisit à préparer l'École polytechnique.

Les concours de 1898 lui ouvrirent les portes de cette École mais celles, aussi, de l'École Normale Supérieure. L'enseignement du professeur de physique prestigieux qui devait devenir l'Inspecteur Général Lamirand, avait d'avance décidé de son choix : Duffour, déjà passionné de Sciences expérimentales, entra à l'École Normale pour y préparer l'agrégation des Sciences physiques.

Après l'agrégation, ce fut le retour en Province, aux Lycées de Mont-de-Marsan, puis de Bordeaux. Dans cette ville où enseignaient des maîtres tels que Duhem pour la Physique,

ezes pour la Chimie, Duffour put reprendre contact avec la recherche, malgré des charges très lourdes d'enseignement.

Vèzes qui avait signalé, en 1901, les premiers dérivés oxaliques de l'iridium lui proposa une étude systématique de ces sels et des conditions de leur formation. A peine ces recherches étaient-elles amorcées qu'un savant italien, Gialdini, publiait un important travail sur le même sujet (1907). Ce fut là une déception pénible que Duffour surmonta courageusement. Frappé par des anomalies que Gialdini n'avait pas remarquées, il put reprendre utilement son sujet et découvrit successivement l'acide iridotrioxalique et toute une série de dérivés iridoxaliques nouveaux.

Une bourse Commercay, de l'Université de Paris, obtenue en 1910, lui permit de se donner entièrement au travail de Laboratoire. Les travaux sur les complexes l'orientaient vers la cristallographie. A la Sorbonne, près de Wallerant, de Broutloff, il acquit une habileté exceptionnelle et un goût passionné pour les travaux goniométriques les plus délicats.

« Contribution à l'étude des dérivés oxaliques complexes d'iridium » qui constitua, en 1912, sa thèse de doctorat ès sciences, peut être considérée comme un chef-d'œuvre de l'application de la Cristallographie géométrique à la Chimie. Les résultats établis sont restés classiques.

En même temps, Duffour, lié à Wallerant dont il fut le collaborateur de 1911 à 1912, s'intéressait aux questions d'isomorphisme et de polymorphisme. Ce fut pour lui l'occasion d'étudier de nombreux sels cristallisés comme le chromate double hexahydraté magnésico-potassique qui comblait une lacune de la série des sulfates doubles magnésium hexahydraté. Il donna les propriétés cristallographiques de diverses séries mixtes, comme celle des chlorosels alcalins de l'iridium et du rhodium, de mettre en évidence le polymorphisme de l'acool benzoylvanillique et celui du bichromate de potassium.

En 1913, Duffour revenait à Bordeaux comme Maître de Conférences de Minéralogie. Mais, à peine installé, il fut arraché par la guerre aux études amorcées dans un nouveau labo-

ratoire. Parti le 2 août 1914 comme lieutenant d'infanterie, il devint rapidement capitaine, obtint la croix de guerre dès 1915 et fut appelé au Service des Poudres à la fin de 1916 en raison de sa valeur technique.

C'est en janvier 1918 qu'il put reprendre son activité scientifique dans son laboratoire de Bordeaux. Tout de suite, il comprit les devoirs régionaux de nos Universités de Province et, pendant deux années, il multiplia les travaux cristallographiques sur les constituants des résines, vouant dès lors un attachement qui ne s'est jamais démenti à l'Institut du Pin de Bordeaux.

Un bref séjour dans la chaire de Minéralogie de Nancy, puis son transfert dans la chaire de Toulouse, dévièrent cette activité en la coupant de ses sources. Duffour reprit des travaux de Cristallographie géométrique générale, mais, à travers les problèmes d'ensemble de structure de la matière, il s'appliquait encore à remplir ce qu'il considérait comme sa mission de professeur provincial en étudiant des minéraux et des roches locales. Ses nombreuses tournées de prospection, la richesse relative des collections du Laboratoire qu'il dirigeait, lui fournirent d'abondants matériaux et c'est ainsi qu'il publia dans le Bulletin de la Société d'Histoire Naturelle de Toulouse une précieuse série de « Notes de Minéralogie méridionale ».

Dès que le Minéralogiste aborde le terrain, il doit considérer les minéraux dans leurs associations autant que dans leur individualité. Duffour devint Pétrographe sur le sol natal qu'il aimait, et il consacra de nombreuses excursions et une abondante expérimentation au problème des roches basiques des Pyrénées. Il disait lui-même que la présence à Toulouse de Ch. Jacob, son camarade d'École Normale, fermement conscient des liens intimes de la Pétrographie et de la Minéralogie, eut beaucoup d'influence, à ses débuts, sur cette activité vers laquelle l'amour du terrain et celui des Pyrénées voisines le poussaient d'ailleurs naturellement.

Dans cette période de sa carrière, Duffour a eu le souci constant de mettre la Science qu'il aimait au service immédiat

la technique et il a réalisé de très nombreuses études inédites sur les matériaux de barrages, sur l'hydrogéologie des départements voisins, orientant déjà son laboratoire vers des problèmes de Minéralogie appliquée.

Membre fervent de notre Société dont il fut vice-président trois reprises, en 1921, 1926 et 1935, il manifestait souvent son regret d'être coupé par la distance des réunions si fécondes qui se tiennent mensuellement à Paris.

Son activité scientifique s'exerça, d'ailleurs, hors de la Minéralogie proprement dite et il eut un rôle actif à la Société géologique du Midi de la France qui l'accueillit en 1931. Il s'occupa, tout particulièrement, des fouilles poursuivies à Martres-Tolosane, son pays d'origine.

La confiance et l'affection de ses concitoyens le placèrent pendant quelques années à la tête de la mairie de son village natal où il a laissé le souvenir d'un inaltérable dévouement.

Mais il s'intéressait avant tout à son Laboratoire de la Faculté des Sciences dont il ne put malheureusement obtenir l'agrandissement qu'à la fin de sa carrière. Tous ses élèves gardent de lui le souvenir d'une grande érudition, souvent trop secrète, et d'une bonté qui savait toujours utiliser une longue expérience de la recherche pour suggérer des solutions aux problèmes difficiles et sauver les jeunes du découragement.

Après avoir apporté une large contribution personnelle à la Cristallographie, ainsi qu'à la Minéralogie et à la Pétrographie régionales, il eut, très loin des vaines satisfactions d'amour-propre personnel, la préoccupation peu commune de préparer à ses successeurs l'instrument de travail conforme aux besoins modernes de la Science à laquelle il s'était voué.

Il avait reçu, en arrivant à Toulouse, un laboratoire d'un autre âge, pratiquement réduit à des salles de collections. Il avait laissé un Service deux fois plus vaste, avec des élèves nombreux, doté des techniques modernes de la Minéralogie. Ce développement dont nous ne saurions lui être assez reconnaissant, fut pour lui la source d'une joie profonde, la dernière d'une belle carrière de Savant.

LISTE CHRONOLOGIQUE DES TRAVAUX SCIENTIFIQUES

1. — Sur les dérivés complexes de l'iridium : iridodichlorooxalates (en collab. avec M. Vèzes). *Bull. Soc. Chim. de France*, 1909, t. 5, p. 869.
2. — Sur les dérivés complexes de l'iridium : acide iridodichlorooxalique et iridodichlorooxalates. *Bull. Soc. Chim. de France*, 1909, t. 5, p. 872.
3. — Sur les dérivés complexes de l'iridium : iridodichlorodinitrooxalates (en collab. avec M. Vèzes). *Bull. Soc. Chim. de France*, 1910, t. 7, p. 507.
4. — Sur les dérivés complexes de l'iridium : acide iridodichlorodinitrooxalique et iridodichlorodinitrooxalates. *Bull. Soc. Chim. de France*, 1910, t. 7, p. 512.
5. — Sur quelques nouveaux dérivés complexes de l'iridium : irido-tétrachlorooxalates et tétrachloroiridites. *C. R. Acad. Sc.*, 1911, t. 152, p. 1593.
6. — Sur quelques nouveaux types d'acides iridooxaliques et d'irido-oxalates complexes. *C. R. Acad. Sc.*, 1911, t. 152, p. 1591.
7. — Contribution à l'étude des dérivés oxaliques complexes de l'iridium. Thèse, Paris, 1912, et *Ann. de Ch. et de Phys.*, 1913, t. 30, p. 169 à 443.
8. Isomorphisme des chlorosels alcalins de l'iridium et du rhodium. *C. R. Acad. Sc.*, 1912, t. 155, p. 222.
9. — Étude cristallographique de quelques substances organiques. *Bull. Soc. Fr. de Minéralogie*, 1913, t. 36, p. 25.
10. — Sur un cas intéressant de dimorphisme. *C. R. Acad. Sc.*, 1913, t. 156, p. 473.
11. — Sur une nouvelle forme du bichromate de potassium. *C. R. Acad. Sc.*, 1913, t. 156, p. 1022.
12. — Sur la forme cristalline des nitrates de coesium et de rubidium. *Bull. Soc. Fr. de Minéralogie*, 1913, t. 36, p. 136.
13. — Sur une association de cristaux d'inégale symétrie. *C. R. Acad. Sc.*, 1914, t. 159, p. 260.
14. — Sur le chromate double hexahydraté magnésico-potassique. *C. R. Acad. Sc.*, 1919, t. 169, p. 73.
15. — Sur un sulfate-chromate considéré comme défini. *Bull. Soc. Fr. de Minéralogie*, 1919, t. 42, p. 242.
16. — Sur un mode de gisement de la célestite. *Bull. Soc. Fr. de Minéralogie*, 1919, t. 42, p. 245.
17. — Sur deux constructions géométriques propres à faciliter le tracé

des projections stéréographiques. *Bull. Soc. Fr. de Minéralogie*, 1920, t. 43, p. 5.

- Cristallisation par voie sèche de la colophane landaise (en coll. avec J. Labatut). *Soc. des Sc. phys. et nat. de Bordeaux*, 1920, proc.-verb. des séances, séance du 20 mai.
- Introduction à l'étude de la constitution des résines de conifères. *Ibid.*, 1920, séances des 3 juin, 17 juin et 1^{er} juillet.
- Les constituants cristallisés des résines de conifères. *La forêt de Gascogne*, 1920, nos 18 à 21, du 20 juin au 5 août, et *Bull. de la Direction des recherche et inventions*, janvier 1921.
- Observations cristallographiques sur quelques acides résiniques préparés par M. G. Dupont. *Soc. des Sc. phys. et nat. de Bordeaux*, procès-verbaux, avril 1921.
- Étude cristallographique de quelques combinaisons complexes de l'iridium et du rhodium. *Bull. Soc. fr. de Minéralogie*, 1922, t. 44, p. 48-61.
- Sur un nouvel exemple de faces hémiedres non conformes au signe de l'activité optique. *C. R. Ac. Sc.*, 1922, t. 175, p. 108.
- Étude minéralogique du dimolybdo-malate d'ammonium. *Bull. Soc. fr. de Minéralogie*, 1922, t. 44, p. 94.
- Sur une macle extrêmement rare de la calcite. *Bull. Soc. fr. de Minéralogie*, 1923, t. 46, p. 95.
- Note de Minéralogie méridionale. I. Sur deux échantillons de gypse. *Bull. Soc. Hist. Nat. Toulouse*, 1925, t. 53, p. 1 à 4.
- Notes de Minéralogie méridionale. II. Sur quelques concrétions minérales du Maestrichien dans la région de Saint-Martory (Haute-Garonne). *Bull. Soc. Hist. Nat. Toulouse*, 1925, t. 53, p. 134 à 141.
- Notes de Minéralogie méridionale. III. Sur quelques calcites pyrénéennes. *Bull. Soc. Hist. Nat. Toulouse*, 1926, t. 61, p. 319-320.
- Sur l'affleurement lherzolitique de Bestiac (Ariège) et ses modes de serpentinitisation. *Bull. Soc. Hist. Nat. Toulouse*, 1926, t. 61, p. 345-350.
- Sur des formes anormales du quartz et sur la formation de pseudo-faces planes non réticulaires. *Bull. Soc. fr. de Minéralogie*, 1925, t. 48, p. 240.
- Sur un sable mollassique phosphorescent de la région de Saint-Féréol. *Bull. Soc. Hist. Nat. Toulouse*, 1927, t. 62, p. 403-405.
- Notes de Minéralogie méridionale. IV. Soufres cristallisés d'Aix-les-Thermes. *Bull. Soc. Hist. Nat. Toulouse*, 1928, t. 63, p. 245-247.
- Note de Minéralogie méridionale. V. Calcite fibreuse des schistes

- carbonifères de l'Ariège. *Bull. Soc. Hist. Nat. Toulouse*, 1928, t. 63, p. 247-248.
34. — Roches basiques du Castillonnais et de la Bellongue (Ariège). *Bull. Soc. géol. de France*, 4^e série, t. 48, 1928.
35. — Existence de roches basaltiques dans le permo-trias de l'Ariège. Extrait *C. R. S. Soc. géol.*, 1929, 10, p. 136-138.
36. — Sur la pluie de boue du 27 au 28 novembre 1930 dans la région pyrénéenne. *Bull. Soc. Hist. Nat. Toulouse*, 1931, t. 66, p. 81-82.
37. — Nouveaux affleurements ariégeois de lherzolite et d'ophite. *C. R. du 66^e congrès des Soc. Sav.*, 1933, p. 157-160.
38. — Quelques observations sur le métamorphisme au contact des ophites. *C. R. du 66^e Congrès des Soc. Sav.*, 1933, p. 157-160.
39. — Notes de Minéralogie méridionale. VI à VIII : Fluorines, nodules pyriteux et géodes à goethite de l'Ariège. *Bull. Soc. Hist. Nat. Toulouse*, 1933, t. 68, p. 651.
40. — Barytine de Saint-Geniez-d'Olt (Aveyron) (en coll. avec M. Candel-Vila). *Bull. Soc. Hist. Nat. Toulouse*, 1940, t. 75, p. 272-273.
41. — Allocution prononcée à la séance publique de l'Ac. Sc. Ins. et Belles-Lettres de Toulouse le 13 décembre 1942. *Mém. de l'Ac. Sc. et Belles-Lettres de Toulouse*, 1943, 43^e série, t. 5.
-

REVUE DES ESPÈCES MINÉRALES NOUVELLES

PAR F. PERMINGEAT,
Service géologique, Rabat (Maroc).

LOVOZERITE

W. I. GERASSIMOSVSKY. — La lovozerite, nouveau minéral. —
Impt. Rend. Ac. Sc. U.R.S.S., 25, p. 753-756, 1939.

Zircono-silicate hydraté de calcium, manganèse et sodium.

$(\text{H, Na, K})_2\text{O} (\text{Ca, Mn, Mg})\text{O} (\text{Zr, Ti}) \text{O}_2 \cdot 6\text{SiO}_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$.

Brun foncé à noir. Poussière brune. Éclat résineux. Opaque.
Fissure inégale à conchoïdale.

Dureté : 5; densité : 2,384.

Uniaxe négatif. $n_g = 1,561$; $n_p = 1,549$.

En plaque mince : rose clair, faiblement pléochroïque,
interférences polysynthétiques fréquentes.

Insoluble dans les acides. Fond aisément en donnant une
perle blanche opaque. Avec le borax donne une perle pourpre.
Avec le sel de phosphore donne une perle jaune verdâtre à
chaud, presque incolore à froid.

Analyse : SiO_2 : 52,12; TiO_2 : 1,02; ZrO_2 : 16,54; Th_2O_3 :
0,66; Al_2O_3 : 0,40; Fe_2O_3 : 0,72; MnO : 3,46; MgO : 0,76;
 CaO : 3,34; SrO : 0,06; Na_2O : 3,74; K_2O : 1,90; $\text{H}_2\text{O} +$:
0,2; $\text{H}_2\text{O}-$: 6,41; total : 99,65.

Trouvée dans le massif alcalin de Lovozero, presqu'île de
Kola, U.R.S.S. Ce minéral se trouve dans certaines « luya-
ses » porphyriques, associé à la murmanite, la lamprophyl-
lite, l'amphibole, la néphéline, etc... On considère que la lovo-

zerite est tantôt un minéral primaire, tantôt un minéral secondaire formé à partir de l'eudialyte.

(Tiré de *Am. Min.*, vol. 25, juillet 1940, n° 7, p. 504, new mineral names.)

MACKAYITE

C. FRONDEL et F. H. POUGH. — Two new tellurites of iron : mackayite and blakeite with new data on emmonsite and « durdenite ». — *Am. Min.*, vol. 29, nos 5-6, p. 211-225, mai-juin 1944.

Dédiée à J. W. MACKAY.

Tellurite de fer de composition incertaine : $[\text{Fe}_2 (\text{TeO}_3)_3 \times \text{H}_2\text{O}]$ (?). Quadratique $1/4$ acd (?); $a_0 = 11,70 \pm 0,02$; $c_0 = 14,95 \pm 0,02$. Cristaux prismatiques avec (010) (110) (012) et (112) rarement pyramidaux avec (112). Pas de clivage. Dureté : 4,5; densité : 4,86.

Cassure subconchoïdale. Éclat vitreux.

Couleur vert péridot à vert olive et vert noirâtre. Poussière vert clair.

Uniaxe positif faiblement pléochroïque.

$n_g = 2,21 \pm 0,02$: vert,

$n_p = 2,19 \pm 0,02$: vert jaunâtre.

Trouvée, par endroits, dans des cavités et fissures de dacites et rhyolites silicifiées à Goldfield, Nevada U. S. A. Elle est associée avec l'emmonsite, la tellurite, l'alunite, la barytine, le quartz, et la blakéite.

MAGNESIUMAPJOHNITE, MANGANOPICKERINGITE, FERROPICKERINGITE, MAGNESIUMHALOTRICHITE

H. MEIXNER et W. PILLEWIZER. — « Über Minerale, die teils im Schrifttum, teils in Sammlungen als « Keramohalit » bezeichnet werden (Bosjemanite von Terlan in Südtirol, Eisenpickeringite von Dienten, Pickeringite von Mitterberg in Salzburg und einige Halotrichitvorkomen. — *Zent. Mineral*, Abt. A., 263-270, 1937.

Noms donnés à des termes intermédiaires du groupe de talotrichite.

(Tiré de *Am. Min.*, vol. 25, mars 1940, n° 3, p. 254, new mineral names.)

MAHADEVITE

S. RAMASESHAN. — Mahadevite, a new species of mica. — *Proc. Indian Acad. Sc.*, p. 177-181, 1945.

Dédiée à C. MAHADEVAN qui découvrit le minéral.

Clivage micacé donnant de fines lamelles élastiques. Les lamelles épaisses sont presque opaques, couleur de bronze; les lamelles minces sont transparentes, jaune verdâtre. Éclat soyeux. Pléochroïsme bien moins intense que celui de la biotite.

Biaxe négatif avec $2E : 13^{\circ} 48'$. La bissectrice aiguë est à peu près perpendiculaire au clivage. Le plan des axes optiques est normal au plan de symétrie déterminé par les figures de extinction.

Analyses : SiO_2 : 38,98 et 38,24; Al_2O_3 (+ TiO_2 + Mn_2O_4) : 20,4 et 29,20; Fe_2O_3 (y compris Fe'') : 4,12 et 3,86; MgO : 12 et 14,4; CaO : 0,49 et 0,50; alcalis : 9,6 et 9,2; H_2O : 3,8 et 3,8; F : n. d. totaux : 100,13 et 99,20,

Par sa composition le minéral est intermédiaire entre la muscovite et la phlogopite.

Trouvée dans une pegmatite située dans les micaschistes de Belline Racha, Konda, district de Warangal (occidental), Hyderabad ?), Indes.

Tiré de *Am. Min.*, vol. 31, p. 514, 1946, new mineral names, (M. FLEISCHER.)

MANGANO-ACTINOLITE — MANGANO-TREMOLITE

Toyohumi YOSIMURA. — Studies on the minerals from the manganese deposits of the Kaso Mine, Japan. — *Jour. Fac. Sci. Hokkaido Imp. Univ.* série IV, nos 3-4, Géol. et Min., 1953, 1939.

Nouveaux noms donnés à 2 amphiboles de la mine Kaso.

	MANGANO- ACTINOLITE	MANGANO- TREMOLITE
n_p	1,648	1,637
n_m	1,661	1,650
n_g	1,668	1,660
2 V.....	74°	84°
angle c- n_g	16°	15°
Fe ₂ Si ₂ O ₆	26,8	18,3
Mn ₂ Si ₂ O ₆	11,0	13,1
Ca ₂ Si ₂ O ₆	26,7	25,3
Mg ₂ Si ₂ O ₆	38,5	43,3

(Tiré de *Am. Min.*, vol. 24, oct. 1939, n° 10, p. 659, new mineral names.)

MAGNOPHORITE

R. T. PRIDER. — Some minerals from the leucite — rich rocks of the west Kimberley area, Western Australia. — *Min. Mag.*, 25, nos 166, 373-379, 1939.

Minéral du groupe des amphiboles, apparenté à la katophorite (d'où le nom) : (Ca, Na, K)_{3,15} (Mg Fe Ti Mn)_{5,22} (Si Al Ti)_{8,00} O₂₂ (OH, F)_{4,04}.

Brun rougeâtre pâle. Densité : 3,12.

Biaxe avec 2V = 70°. Plan des axes optiques (010). Dispersion assez forte $r < v$.

Indices et pléochroïsme :

n_p = 1,616 : incolore à jaune pâle

n_m : rougeâtre

n_g = 1,632 : jaune pâle à jaune vif parfois légèrement verdâtre.

Analyse : SiO₂ : 52,67 ; Al₂O₃ : 1,72 ; TiO₂ : 3,53 ; Fe₂O₃ : 0,58 ; FeO : 2,41 ; MnO : 0,06 ; MgO : 21,32 ; CaO : 6,95 ; SrO : 0,15 ; Na₂O : 3,64 ; K₂O : 5,70 ; H₂O+ : 0,46 ; F : 1,29 ; total : 100,48 moins O = F = 0,54 ; total : 99,94.

Ce minéral est un constituant essentiel des lamproïtes leu-

ques (composées de diopside, phlogopite, magnophorite et épidote) de West Kimberley, Australie occidentale. On le trouve aussi dans les jumillites de Murcie (Espagne) et les orendites de Leucite Hills (Wyoming, U. S. A.).

Tiré de *Am. Min.*, vol. 25, mars 1940, n° 3, p. 253, new mineral names.)

MANGANOPHLOGOPITE

Toyohumi YOSIMURA. — Studies on the minerals from the manganese deposits of the Kaso Mine, Japan. — *Jour. Fac. Hokkaido Imp. Univ.*, série IV, nos 3-4, Géol. et Min., 313-324, 1939.

Phlogopite riche en manganèse (18,24 % de MnO) se présente en cristaux feuilletés irréguliers.

$E = 0^\circ$; $n_p = 1,552$; densité = 3,21.

Tiré de *Am. Min.*, vol. 25, fév. 1940, n° 2, new mineral names.)

META-ALUNOGENE

G. GORDON. — Results of the Chilean mineralogical expedition of 1938. Part. VII. The crystallography of alunogen, meta-alunogen and pickeringite. — *Notuloe Naturae Acad. Sc. Philadelphie*, 101, 1942

$[Al_2(SO_4)_3 \cdot 13,5 H_2O]$.

Monoclinique. Biaxe positif, la bissectrice obtuse est perpendiculaire au clivage. $n_p = 1,469$ — $n_m = 1,473$ — $n_g = 1,481$.

Brillant à éclat cireux ou perlé.

Analyse par P. COLLINS :

Al_2O_3 : 17,33; SO_3 : 41,04; H_2O : 41,44; total : 99,81 %.

Ce minéral se présente sous forme de pseudomorphoses d'alunogène. Il se forme par déshydratation à l'air de l'alunogène, qui, avec la pickeringite, forme des veines dans une andérite altérée près Francisco de Vergara, Chili.

Tiré de *Am. Min.*, vol. 28, n° 1, janvier 1943, p. 60, new mineral names.)

METALOPARITE

V. I. GERASIMOVSKY. — La metaloparite, nouveau minéral de la toundra de Lovozero. — *Compt. Rend. Acad. Sc. U. R. S. S.*, 33, p. 61-63, 1944.

Produit d'altération de la loparite. Jaune brunâtre, poussière jaune verdâtre. Éclat adamantin. Fragile. Pas de clivage. Cassure inégale. Dureté sans doute voisine de 5. Densité au pycnomètre : 4,41.

En plaque mince : brun noir avec teinte verdâtre et aussi jaune vert sale. Très finement grenu. La biréfringence est visible sous un fort grossissement : $n = 2,24 \pm 0,03$.

Analyse par I. D. BORNEMAN-STARYNKEVITCH. SiO_2 : 1,27 ; TiO_2 : 44,01 ; Cb_2O_5 : 10,78 ; Ta_2O_5 : 0,66 ; ThO_2 + terres rares : 34,20, CaO + SrO : 5,35 ; K_2O + Na_2O : 0,23 ; H_2O = 3,49 ; total : 99,99.

Pendant l'altération de la loparite la teneur en (CaO + SrO) a diminué de 8,4 à 5,35 %, celle en (Na_2O + K_2O) de 8,4 à 0,2 %, celle en eau a augmenté de 0,6 à 3,5 %, celle en Ti, Cb, Ta et terres rares n'a pas été affectée.

Au chalumeau : infusible, devient noir brunâtre. Décomposée par SO_4H_2 .

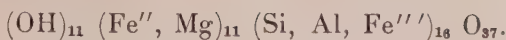
Trouvée dans des roches à loparite et urtite, des roches à loparite et lujavrite du massif alcalin de Lovozero, péninsule de Kola ; en particulier sur la pente orientale du Mont Vavnbéd, la pente nord du mont Ninchurt, la pente sud du mont Stratempakhk, la pente sud-ouest du mont Kuftnyun. Elle est associée à de la néphéline qui a été presque complètement altérée en séricite et zéolite.

(Tiré de *Am. Min.*, vol. 28, n° 4, avril 1943, p. 283, new mineral names, par M. FLEISCHER.)

MINNESOTAITE

J. W. GRUNER. — The composition and structure of minnesotaite, a common iron silicate in iron formations. — *Am. Min.*, vol. 29, nos 9-10, p. 363-372, sept-oct. 1944.

approximativement :



La composition varie sans doute largement surtout quant au rapport $\text{Fe}'' : \text{Fe}'''$. Ce minéral a la structure du talc, avec environ les $3/4$ de Mg remplacés par Fe. Il se présente uniquement en aiguilles et tablettes microscopiques. Dureté inférieure à 1. Densité variable : 3,04 sur l'échantillon analysé. Couleur vert d'azul variable.

Bras brillant gras à cireux ou terne.

$$n_g = 1,615 \text{ — } n_p = 1,580.$$

Les indices peuvent être plus forts sur des échantillons plus sombres qui sont nettement pléochroïques : n_g et n_m = rouge pâle — n_p = jaune pâle à incolore. Extinction droite. Birefringement positif. Angle des axes optiques faible avec bissectrice aiguë perpendiculaire au clivage basal parfait.

Analysé par R. B. ELLESTAD : SiO_2 : 51,29 ; Al_2O_3 : 0,64 ; FeO : 2,00 ; FeO : 33,66 ; MgO : 6,36 ; CaO : néant ; Na_2O : 0,03 ; K_2O : 0,03 ; $\text{H}_2\text{O} +$: 5,54 ; $\text{H}_2\text{O} -$: 0,24 ; total : 99,84 ; TiO_2 sont présents en petite quantité.

Ce minéral est abondant dans les gisements de fer de Mesabi à Iron Range, Minnesota (d'où le nom), U. S. A. Il est associé au quartz, à la sidérose, à la magnétite, à la stilpnomélane et à la greenalite.

MONTGOMERYITE

S. LARSEN. — Overite and montgomeryite : two new minerals from Fairfield, Utah. — *Am. Min.*, vol. 25, mai 1940, pp. 320-326.

Associée à A. MONTGOMERY, qui recueillit le minéral.



Monoclinique : $a : b : c = 0,4145 : 1 : 0,2580$. $\beta = 91^\circ 34'$.

Maille élémentaire : $C 2/c$; $Z = 2$; $a_0 = 9,99 \text{ \AA}$; $b_0 = 10,02 \pm 0,02 \text{ \AA}$; $c_0 = 6,25 \pm 0,05 \text{ \AA}$; $\beta \pm 91^\circ 28'$.

Éclat vitreux, en baguettes, très aplatis parallèlement à b . Vert pâle à incolore. Clivages : (010) parfait, (100) indistinct. Dureté : 2,5. Densité = $2,530 \pm 0,005$.

Biaxe négatif : $2V = 75^\circ \pm 10^\circ$.

Dispersion nette : $r < v$. Indices : n_g est sur b , n_p fait avec c un angle de 60° .

$n_p = 1,572$ — $n_m : 1,578$ — $n_g = 1,582$ à $0,002$ près.

Trouvée dans des cavités des nodules de variscite de Fairfield, Utah, U. S. A.

Analyse par F. A. GONYER (1 % d'impuretés).

$P_2O_5 = 37,70$ — $Al_2O_3 : 21,32$ — $CaO : 19,07$ — $H_2O : 21,65$ — total : $99,74$.

$\alpha, \beta, \gamma, \delta, \epsilon$, — MONTMORILLONITE

$\alpha, \beta, \gamma, \delta, \epsilon$, — SEPIOLITE

ALUMODEVEILLITE

HYDROMAGNIOLITE

HYDROSYALITE

N. E. EFREMOV. — Sur la classification de quelques silicates de magnésium et de leurs homologues alumineux. — *Compt. Rend. Acad. Sc. U. R. S. S.*, 24, 287-289, 1939.

$\alpha, \beta, \gamma, \delta, \epsilon$ désignent des variétés de montmorillonite et de sepiolite caractérisées par différents rapports $Al_2O_3 : SiO_2 : H_2O$ et $MgO : SiO_2 : H_2O$.

Les termes : alumodeveillite, hydromagniolite et hydrosialite, bien que non définis, paraissent être nouveaux.

(Tiré de *Am. Min.*, vol. 25, av. 1940, n° 4, p. 313, new mineral names.)

NĚMECITE

J. V. KAŠPAR. — Un nouveau silicate de fer naturel. — *Rozpravy české Akad.*, 51, n° 14, 1941.

Incrustations ressemblant à de la limonite sur de la pyrrhotine associée à la sidérose, la cronstedtite et au quartz à Chiuzbaia, Roumanie.

L'analyse a donné : $SiO_2 : 28,79$; $Fe_2O_3 : 40,20$; $FeO : 1,00$; $S : 0,82$; $H_2O (+ 240^\circ) : 6,97$; $H_2O (-240^\circ) : 22,96$; total : $100,74$.

D'où la formule $H_4Fe_2Si_2O_9 \cdot 5H_2O$ qui est confirmée par l'analyse thermique.

Densité : 2,075 ; dureté : 2,5.

Isotrope avec $n = 1,608$.

L'auteur pense que la nêmecite est la phase cristalline correspondant à l'hisingerite amorphe.

N.-B. — La canbyite a la même composition chimique, cependant elle contient moins d'eau et ses indices de réfraction sont plus faibles. Une étude aux rayons X de ces espèces serait nécessaire.

(Tiré de *Am. Min.*, vol. 31, p. 605, new mineral names, par M. FLEISCHER.)

NEODIGENITE

P. RAMDOHR. — Die Mineralien in system $\text{Cu}_2\text{S}-\text{CuS}$. — *Zeitprakt Geol.*, 51, p. 4-9, 1943.

BUERGER, étudiant le système $\text{Cu}_2\text{S}-\text{CuS}$ (*Econ. Geology*, 36, p. 19-44, 1941), avait repris le nom de digenite (BRETHERIDGE : *Ann. Phys.*, 61, 673, 1844) pour désigner le minéral cubique Cu_9S_5 . RAMDOHR propose le nom de neodigenite pour le même minéral.

NIFESITE

M. LÖFQVIST et C. BENEDICKS. — Det stora Nordenskiöldska järnblocket från Ovifak. — *K. Svenska Vetenskaps. Handl.* Band 19, n° 3, 1941.

Nom donné, par allusion à la composition comportant : Ni, Fe, et S, à un agrégat très finement grenu, paraissant provenir d'une décomposition à basse température de bravoite et de pentlandite.

On trouve des intercroissances de bravoite et de pentlandite dans le fer d'Ovifak, Groenland, dont Nordenskiöld avait apporté des échantillons à Stockholm.

NORDITE

V. E. GERASIMOVSKY. — La nordite, nouveau minéral de laoundra de Lovozero. — *Compt. rend. Acad. Sc. U. R. S. S.*, 32, p. 496-498, 1942.

Nom donné à cause de l'origine nordique du minéral : métasilicate de Na, Sr, Ca, et terres rares.



Orthorhombique : $a : b : c = 0,730 : 1 : 0,527$.

Se présente en lamelles atteignant $1 \times 0,5 \times 0,1$ cm. Les cristaux sont rares. Formes observées (100) (010) (110) (120) (212) et (101); la face (100) prédomine, c'est un bon clivage.

Brun clair; poussière blanche; semi-transparent. Cassure inégale à conchoïdale. Fragile. Dureté : 5-6. Densité au pycnomètre : 3,430.

Biaxe négatif :

$$n_g = 1,642; n_m : 1,630-1,640; n_p = 1,69.$$

2 V mesuré à la platine de Fedorov :

(Lumière de Li) : 32° , (de Na) : $31^\circ 30'$, (de Tl) : $31^\circ 30'$.

Analyse par G. A. BUROVA :

SiO_2 : 45,43; Ti, Cb, Ta : néant; Fe_2O_3 : 1,84; Ce_2O_3 : 8,77 (La , etc...) $_2\text{O}_3$: 10,48 (Y , etc...) $_2\text{O}_3$: 0,95; MnO : 6,04; SrO : 7,40; CaO : 4,46; MgO : 2,00; Na_2O : 11,70; K_2O : 0,08; F : néant; Cl : traces; perte au feu : néant; total : 99,27 (donné pour 99,25).

Au chalumeau fond aisément en un verre bleu. La perle au borax au feu oxydant est vert jaunâtre clair à chaud, rose pâle à froid, au feu réducteur vert plus pâle à chaud, incolore à froid. Attaquée par HCl , NO_3H et SO_4H_2 .

Trouvée sur la rive gauche du cours supérieur de la Chinglusuai, massif alcalin de Lovozero, péninsule de Kola, dans des masses de pegmatites d'une syénite à sodalite. Elle est associée à la sodalite (variété hackmanite), à l'ussingite, à la chinglusuite et à la lomonosovite (phosphate de sodium — silicate de titane). On y trouve aussi la lamprophyllite, l'eudialyte, le microcline, la néphéline, l'aegyrine, la blende et la neptunite.

(Tiré de *Am. Min.*, vol. 28, n° 4, avril 1943, p. 282, new mineral names, par M. FLEISCHER.)

NORILSKITE

O. E. ZVIAGINTZEV. — Une nouvelle espèce minérale du groupe du platine. — *Compt. Rend. Acad. Sc. U. R. S. S.*, 26, 8, p. 788-791, 1940.

Alliage de platine, de fer, de nickel et de cuivre : Pt : 35,50 ; U : 3,57 ; Fe = 25,30 ; Ni = 25,64 ; Cu : 9,28 ; S : 0,71 ; Sol. : 0,40 ; total : 100,40.

Trouvée dans des placers, associée à d'autres alliages de platine et de palladium contenant des proportions variables de fer, de nickel et de cuivre, près des gîtes de minerai sulfuré de cuivre et de nickel, de Norilsk (d'où le nom du minéral).

(Tiré de *Am. Min.*, vol. 25, oct. 1940, n° 10, p. 710, new mineral names.)

ONDŘEJITE

J. V. KASPAR. — L'ondřejite, nouveau minéral. Note préliminaire. — *Veda Prirodni. Prague*. 23, p. 132-137, 1944.

Une substance blanche, pulvérulente, dont l'homogénéité a été prouvée par une étude aux rayons X, a été trouvée récemment sous forme de croûtes et de concrétions irrégulières sur des cristaux prismatiques d'aragonite dans les grottes de Zbrašov près Hranice, Moravie orientale.

Densité : 2,217.

L'analyse a donné :

CO₂ : 43,50 ; SiO₂ : 6,57 ; FeO : 0,46 ; MgO : 18,34 ; CaO : 1,65 ; Na₂O : 8,31 ; H₂O (60°) : 2,07 ; total : 94,07.

Si le reste représente la teneur en eau, qui serait expulsée à une température supérieure, alors le minéral appartiendrait au groupe de la thaumasite.

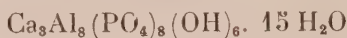
OVERITE

E. S. LARSEN. — Overite, a new mineral from Fairfield, Utah. — *Am. Min.*, vol. 23, déc. 1938, n° 12, part. 2, p. 9.

E. S. LARSEN, — Overite and montgomeryite : two new

mineral from Fairfield, Utah. — *Am. min.*, vol. 25, mai 1940, n° 5, p. 315-320.

Dédiée à E. OVER, qui recueillit le minéral.



Orthorhombique $a : b : c = 0,7864 : 1 : 0,3795$; $a_0 = 14,75 \text{ \AA}^\circ$ — $b_0 = 18,74 \text{ \AA}^\circ$ — $c_0 = 7,12 \text{ \AA}^\circ$.

Groupe : Bmam; $Z = 2$.

Cristaux prismatiques, vert pâle à incolore, aplatis suivant *b*.

Clivages : (010) parfait, (100) indistinct.

Dureté : 4 ; densité : 2,53.

Biaxe négatif avec $2V = 75^\circ \pm 10^\circ$.

Dispersion faible $r > v$; orientation optique et indices :

$$\left. \begin{array}{l} n_p = 1,568 \text{ suivant } c \\ n_m = 1,574 \\ n_g = 1,580 \text{ suivant } b \end{array} \right\} \text{ à } 0,002 \text{ près.}$$

Trouvée dans des cavités des nodules de variscite de Fairfield, Utah, U. S. A

NB. — Ce minéral avait déjà été partiellement décrit sous la désignation de minéral n° 8 dans la note : « The minerals of the phosphate nodules from near Fairfield, Utah » par E. S. LARSEN et E. V. SHANNON (*Am. Min.*, vol. 15, p. 307, 1930).

Analyse par F. A. GONYER (1 % d'impuretés).

P_2O_5 : 37,91 ; Al_2O_3 : 27,99 ; CaO : 11,62 ; H_2O : 22,04 ; insol : 0,11 ; total : 99,67.

PARARAMMELSBERGITE

M. A. PEACOCK. — Rammelsbergite and pararammelsbergite, distinct orthorhombic forms of NiAs_2 . — *Am. Min.*, vol. 24, n° 12, part. 2, 10, 1939 et vol. 25, p. 211, 1940.

M. A. PEACOCK et A. S. DADCON. — On rammelsbergite and pararammelsbergite ; distinct forms of nickel diarséniure. — *Am. Min.*, vol. 25, sept. 1940, n° 9, p. 561-577.

Orthorhombique ou pseudo-orthorhombique. Groupe de recouvrements : D_{2h} — $\text{Pb } m a$ (ou $\text{Pb}2a$) $a_0 = 5,74$ — $b_0 =$

,81 — $c_0 = 11,405 \text{ \AA}$. $Z = 8$ — clivage (001). Pas de macles connues. Densité mesurée : 7,12, calculée, 7,24.

Analyses :

	1	2	3	4
Ni.....	28,1	27,08	17,46	28,1
Co.....	0,4	1,94	11,24	
Cu.....	néant	0,16	—	
Fe.....	néant	0,56	0,73	
As.....	68,5	65,78	66,61	71,9
Sb.....	—	0,91	—	
S.....	2,6	3,05	3,30	
SiO ₂	—	—	0,84	
	99,6	99,48	100,18	100,00
Densité :	7,12	7,02	6,73	7,24 (calc).

1) Pararammelsbergite de la Moose Horn Mine, Elk Lake, Gowganda, Ontario, par Rogers (1939).

2) Pararammelsbergite de la Hudson Bay Mine, Cobalt, Ontario, par Todd (1921).

3) Pararammelsbergite de la Keeley Mine, South Lorrain, Ontario, par Rickaby (1925).

4) Composition théorique NiAs_2 .

La pararammelsbergite se distingue facilement de la rammelsbergite par son diagramme Debye-Scherrer. En sections polies ces deux minéraux sont semblables au point de vue dureté, poli, pouvoir réflecteur, couleur naturelle et couleurs de polarisation, anisotropisme. Mais la pararammelsbergite a tendance à former des cristaux tabulaires donnant des sections rectangulaires ; les cristaux ne sont pas maclés ; elle s'altère plus rapidement que la rammelbergite dans l'air humide.

La pararammelsbergite se formerait à température plus haute que la rammelsbergite (?).

Ce minéral a été trouvé dans la mine Moose Horn, Elk Lake, Gowganda (Ontario, Canada), associé à la nickeline et à la smaltine ; dans la mine Hudson Bay Cobalt (Ontario, Canada), associé à la smaltine-chloanthite, à la cobaltine, à la

löllingite et à la rammelsbergite (?); et dans la mine Keeley, South Lorrain (Ontario, Canada), associé à la smaltine et à la rammelsbergite (?).

PHOSPHORRÖSSLERITE
(**ARSENIORÖSSLERITE**)

O. M. FRIEDRICH et J. ROBITSCH. — Phosphorrösslerite ($\text{Mg HPO}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}$) als Mineral aus dem Stüblbau zu Schellgaden. — *Zentralb. Miner. Geol. Paleon*, Abt. A, n° 5, p. 142-145, 1939.

Phosphate acide hydraté de magnésium $\text{MgHPO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$.

Monoclinique : $2/m$; $a : b : c = 0,4455 : 1 : 0,2602$. $\beta = 94^\circ 56'$. Cristaux équidimensionnels ou prismatiques courts, rarement tabulaires, souvent groupés avec interpénétrations, parfois croûtes vacuolaires, masses botryodales. Faces observées : (010) (100) (110) (011) (120) (111) (140) ($\bar{1}11$). Pas de clivage. Cassure conchoïdale. Densité : 1,725. Dureté : 2,5.

Incolore à jaune ou jaune miel.

Biaxe négatif avec $2V = 38^\circ 70'$.

Orientation optique et indices :

sur a : $n_p = 1,477$,

sur b : $n_m = 1,485$,

$6,5^\circ$ entre c et $n_g = 1,486$.

Facilement soluble dans HCl et NO_3H dilués. Soluble dans l'eau. Au tube fermé donne beaucoup d'eau et blanchit. Blanchit lentement à l'air.

Analyse par J. ROBITSCH : MgO : 16, 28 ; P_2O_5 : 28,07 ; H_2O (acide) : 3,65 ; H_2O (de cristallisation) : 50, 86 ; insol. : 0,08 ; total : 98,94.

Trouvée sous forme de croûtes et de cristaux comme minéral secondaire dans les boues des vieux travaux de la mine de Stüblbau à Schellgaden, Allemagne.

L'arseniorösslerite (arsenrösslerite) est l'homologue arsenical de la phosphorrösslerite.

(Tiré de *Am. Min.*, vol 24, av. 1940, n° 4, p. 313, new mineral names.)

RAMSDELLITE

M. FLEISCHER et W. E. RICHMOND. — The manganese oxide minerals : a preliminary report. *Econ. Geol.*, 38, p. 269-286, 1943.

Dédiée à L. S. RAMSDELL qui, le premier, décrivit ce minéral (*Am. Min.*, 17, 143-149, 1932).

MnO₂. Orthorhombique. Se transforme en polianite (= pyro-
usite pour les auteurs) lorsqu'on le chauffe à 300°.

Couleur gris d'acier à noir. Poussière noire.

Dureté : 3 ; densité : 4,7.

Se présente en cristaux tabulaires épais et aussi en masses montrant deux clivages rectangulaires. Fréquemment mélangé à la polianite (produit de transformation ?). On en connaît trois gisements : Lake Valley, Sierra Co, N. Mex. — East River, Hinton Co, Nova Scotia, — Kodjas Karil mine, Mustapha Pacha, Roumélie, Turquie.

RANKINITE

C. E. TILLEY. — Tricalcium disilicate (rankinite), a new mineral from Scawt Hill, Co. Antrim. — *Min. Mag.*, 26, p. 190-196, 1942.

Dédiée à G. A. RANKIN qui, avec E. S. SHEPHERD et E. WRIGHT, étudia les systèmes CaO — Al₂O₃ — SiO₂ et, le premier, découvrit ce composé.

Composition : Ca₃Si₂O₇. Faute de matériel aucune analyse quantitative n'a pu être faite. Fait gelée dans les acides HCl et H₂SO₄ dilués donnant un précipité abondant de gypse.

Ne contient ni Mg ni Al. N'est pas modifié par un chauffage prolongé à 1.400° ; fond à 1.475°.

Monoclinique, positif, 2V = 64°.

$n_p = 1,640-1,641$; $n_m = 1,644$; $n_g = 1,650$.

Nm est sur *b*. Ces données correspondent à celles de Gordon (*Am. Min.*, 8, p. 110, 1923) sur des cristaux de scories.

Trouvée à Scawt Hill, Irlande :

1° en grains arrondis ou irréguliers associée à la larnite ou à la wollastonite dans la melilite d'une roche ;

2° au contact de nodules de silex dans un calcaire métamorphique, en zones cristallines étroites séparant la wollastonite et la larnite;

3° dans les scories de haut fourneau et les rognons calcaires dans le verre d'une fabrique de bouteilles.

(Tiré de *Am. Min.*, vol. 27, n° 10, p. 720, oct. 1942, new mineral names.)

Ca — RHODOCHROSITE

Fe — RHODOCHROSITE

Fe — Mn — CALCITE

Toyohumi YOSIMURA. — Studies on the minerals from the manganese deposits of the Kaso Mine, Japan. — *Jour. Fac. Sc. Hokkaido Imp. Univ.*, sér. IV, nos 3-4, Geol. et Min., vol. IV, 313-453, 1939.

Ces carbonates se présentent à la mine Kaso associés à la rhodonite et à d'autres silicates de fer et de manganèse.

	Co ₃ Fe	Co ₃ Mn	CO ₃ Ca	CO ₃ Mg	n _g	DENSITÉ
Fe-Mn-calcite . . .	24,6	46,5	53,6	5,3	—	3,38
Ca-Rhodochrosite.	7,2	74,7	11,8	6,3	1,795	3,51
Ca-Rhodochrosite.	4,3	53,8	37,5	4,4	1,731	3,05
Fe-Rhodochrosite.	12,7	75,0	6,9	5,4	1,790	3,38

(Tiré de *Am. Min.*, vol. 24, oct. 1939, n° 10, p. 660, new mineral names.)

ROYITE

N. L. SHARMA. — Royite, a new variety of quartz from the Jharia coal-field. — *Proc. Indian Acad. Sc.*, 12 B, p. 215-220, 1940.

Dédiée à S. K. Roy, professeur à l'école des Mines des Indes.

Noir brunâtre à noir. Poussière incolore. Densité : 2,65 ; dureté : 7.

Uniaxe positif. Indices égaux à ceux du quartz. Extinction

oduleuse, l'angle de ng avec c variant de 0 à 5°. Diffère du quartz par un bon clivage prismatique et un clivage transversal. Le minéral se casse en morceaux rhomboédriques. Reflets chatoyants caractéristiques sur les clivages.

Trouvée en divers points du bassin charbonnier de Jharia, habituellement le long des joints des grès et des schistes.

Analyse par S. C. NIVOGY d'un échantillon contenant de la monite et de la biotite dans les fissures :

SiO_2 : 95,78 ; MgO : 2,04 ; Al_2O_3 : 1,80 ; Fe_2O_3 : 0,14 ; CaO : 0,37 ; MnO : 0,03 ; TiO_2 : traces ; total : 100,16.

N.B. — Nom inutile pour une variété de quartz.

(Tiré de *Am. Min.*, vol. 27, n° 6, juin 1942, new mineral names.)

RUTHENOSMIRIDIUM

Aoyama SHIN'ICHI. — A new mineral « ruthenosmiridium ».

Sc. Repts. Tohoku Imp. Univ. — 1^{re} sér., Honda Anniv. 11., p. 527-546, oct. 1936.

Iridosmine contenant une forte proportion de ruthenium.

Analyse : Ir : 39,018 ; Os : 38,885 ; Ru : 21,080 ; Rh : 0,986.

Hexagonal. Blanc d'étain brillant, clivage basal parfait. Densité : 18,97.

Trouvé dans l'iridosmine associée à l'or dans les graviers de rivière, Uryu, près Horokanai, Hokkaido, Japon. Ce minéral

est à rapprocher de la rutheno-nevyanskite de Nevvansk, minéral (Ir : 44,7 ; Os = 35,6 ; Ru : 14,1 ; Pt : 1,8 ; Rh : 1,8 ;

Rh : 1,6 ; densité : 17,6), décrite par VERNADSKY (*Minéralogie descriptive*, vol. 1, p. 248, 1909).

SAAMITE

M. I. VOLKOVA et B. V. MELENTIEV. — *Compt. Rend. Acad.*

U. R. S. S., 25, p. 120-122, 1939.

Nom proposé pour des apatites à forte teneur en strontium à 11 % de SrO contre 2 à 3 % de SrO dans les autres apatites de la même région) trouvées à Poachvumchorr, à Takh-

tarvumchorr et à Aevesogchorr dans la péninsule de Kola, U. R. S. S.

(Tiré de *Am. Min.*, vol. 26, janvier 1944, n° 1, p. 133, new mineral names.)

SAMPLEITE

C. S. HURLBUT JR. — Sampleite, a new mineral from Chuquicamata, Chile. — *Am. Min.*, vol. 27, n° 8, p. 586, août 1942.

Dédiée à M. SAMPLE de la « Chile Exploration Co »



orthorhombique $2/m2/m2/m$.

$a_0 = 9,70 \text{ \AA}$; $b_0 = 38,40 \text{ \AA}$; $c_0 = 9,65 \text{ \AA}$ — $a_0 : b_0 : c_0 = 0,2526 : 1 : 0,2513$ — $Z = 8$.

Forme des croûtes caractéristiques bleu clair, parfois de petits cristaux aplatis vert bleu clair.

Clivages : (010) parfait, (100) et (001) bons.

Dureté : 5; densité : 3,20.

Biaxe négatif avec $2V = 5$ à 20° .

Dispersion $r > v$.

Indices, orientation et pléochroïsme :

sur b : $n_p = 1,629$ bleu profond

sur a : $n_m = 1,677$ bleu clair

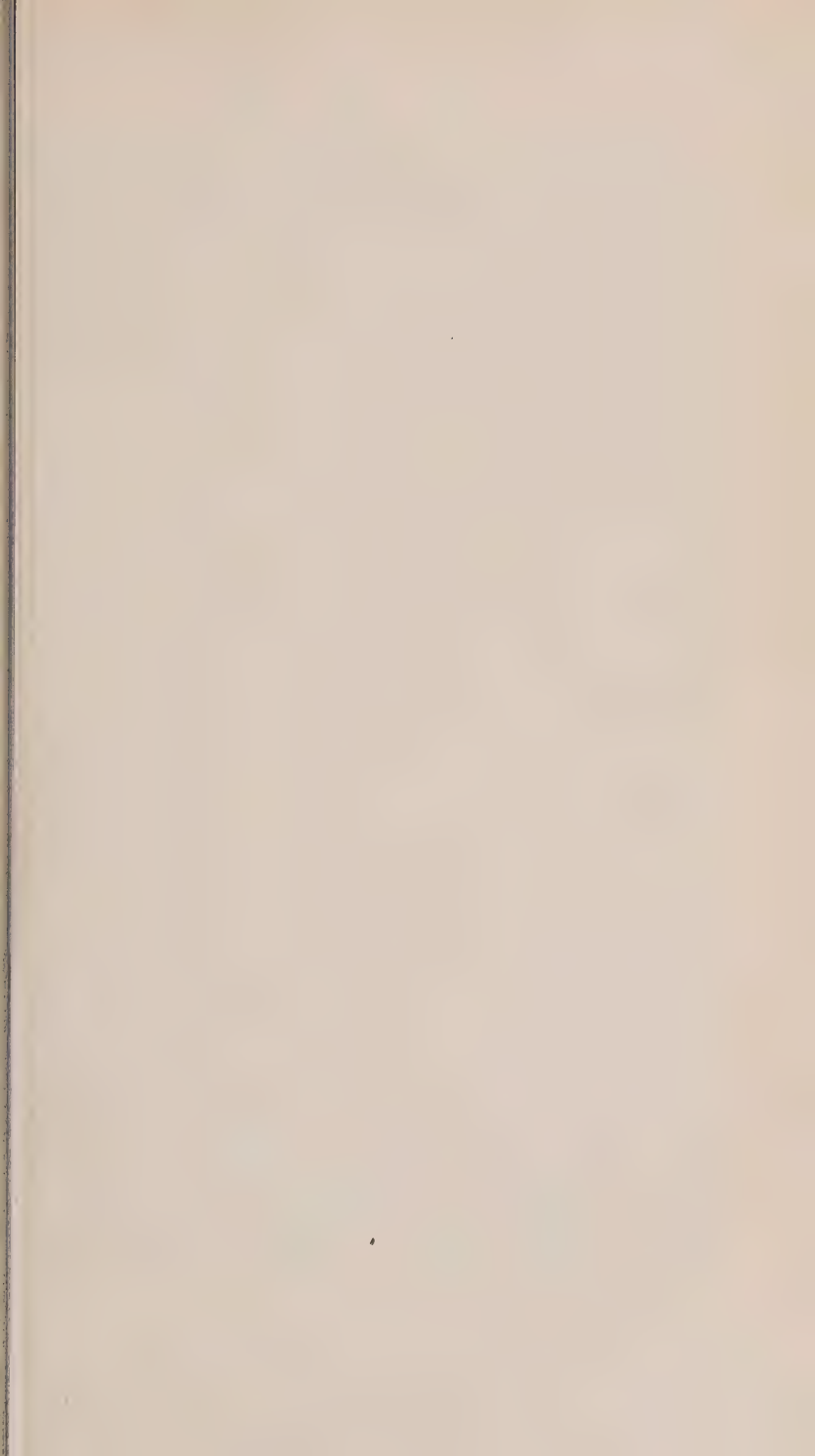
sur c : $n_g = 1,679$ incolore.

Analyse par F. A. GONYER :

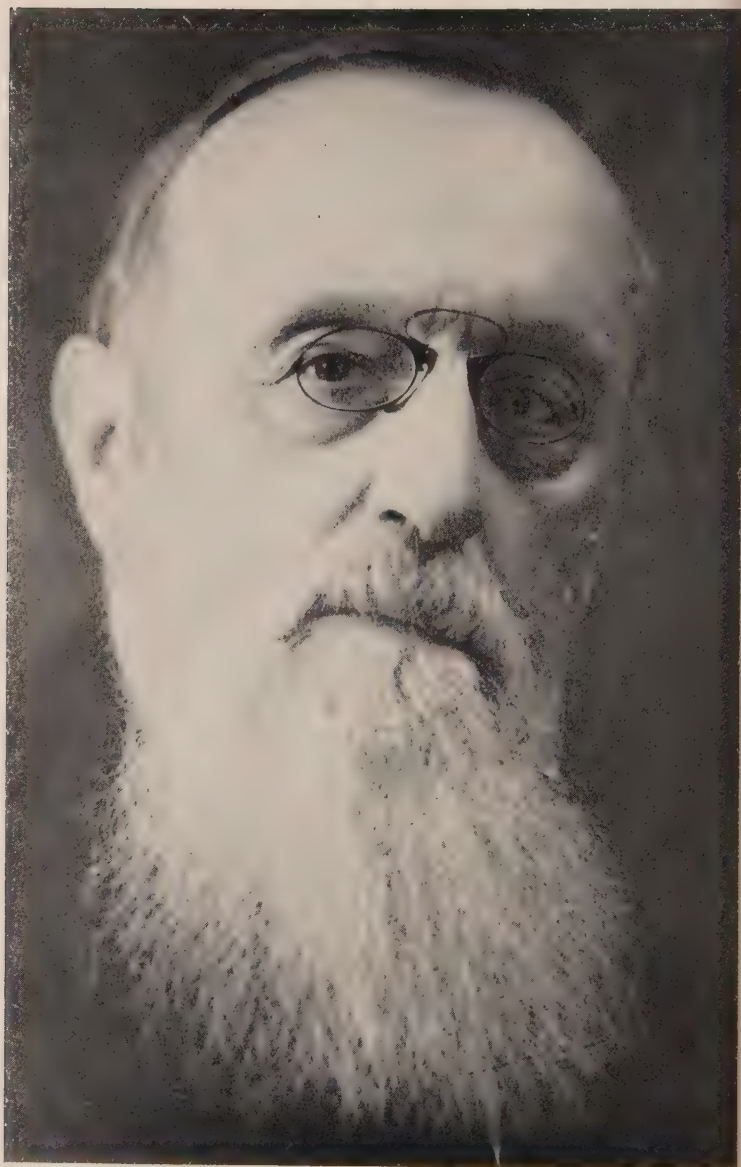
CuO : 43,37; P_2O_5 : 31,55; CaO : 5,73; MgO : 0,51; K_2O : 1,47; Na_2O : 3,06; H_2O : 9,57; Cl : 3,89; insol. : 1,48; total : 100,67 moins : $\text{O} = 0,89$; total : 99,78.

Trouvée à Chuquicamata, Chili, dans la zone d'oxydation, associée au gypse, à l'atacamite, à la jarosite, à la libethenite, à la limonite, à des dentrites d'oxydes de fer et de manganèse, etc..., dans des roches fortement altérées.

Le secrétaire-gérant : A. J. ROSE.



Pl. I



Macoy

ALFRED LACROIX

(1863-1948)

PAR JEAN ORCEL,

Professeur de Minéralogie
au Muséum National d'Histoire Naturelle.

mi les savants renommés qui ont illustré notre Société ⁽¹⁾, la personnalité de A. Lacroix se détache en un relief saisissant. Ceux qui l'ont connu, ses collègues, ses élèves, qui ont eu le rare privilège de son amitié, de son appui et de ses conseils, conserveront de lui un souvenir ineffaçable.

Les jeunes générations trouveront toujours dans son œuvre scientifique et variée, embrassant presque tout le domaine des sciences de la Terre, de fructueux enseignements pour leurs recherches, et aussi l'exemple d'un labeur acharné, inlassablement poursuivi, pendant près de 70 ans, avec le plus grand désintéressement et la plus parfaite maîtrise dans la pensée, dans la parole et dans l'action.

La bibliographie de ses travaux, qu'il avait achevée lui-même à sa mort (survenue le 16 mars 1948), comprend 650 titres, sans compter ni ses grands ouvrages bien connus, tels la *Minéralogie de la France*, la *Minéralogie de Madagascar*, l'*Éruption de la Montagne Pelée*, ni ses discours et lectures académiques. Résumer une telle œuvre en ces quelques pages est une entreprise bien téméraire. Je ne pourrai qu'en esquisser les grandes lignes après avoir évoqué la vie de notre regretté Collègue; celui-ci fut pour moi un maître vénéré, auprès de qui j'ai travaillé pendant près de trente ans, et je lui dois le meilleur de ma formation scientifique. Qu'il me soit donc permis de donner à cette notice le caractère d'un hommage d'affectueuse et profonde reconnaissance de ma part.

⁽¹⁾ Membre de la Société française de Minéralogie depuis 1881. A. Lacroix en fut président en 1895, 1908, 1917, 1927, et 1940-1943. Il en est membre bienfaiteur. Par ailleurs, il a été membre de la Société Géologique de France depuis le 1^{er} février 1900. Président de cette Société trois fois, en 1910, 1922 et 1930.

I. — SA VIE ET SA CARRIÈRE.

François-Antoine-Alfred Lacroix est né à Mâcon le 4 février 1863, dans une famille de médecins et de pharmaciens, viva depuis longtemps sur les bords de la Saône. Son grand-père Tony Lacroix, avait été préparateur de Nicolas Vauquelin au Muséum, vers 1826. Il avait dû, en 1828, rentrer à Mâcon où ouvrit une pharmacie, mais il avait conservé l'amour de la chimie et surtout de la minéralogie. Aussi, dès sa plus tendre enfance A. Lacroix fut-il imprégné des goûts de son grand-père, et il plaisait à nous décrire le grand local que ce dernier avait aménagé dans sa pharmacie pour y abriter, dans de hautes vitrines, une collection de minéraux, souvenir de Vauquelin, et, plus tard, une bibliothèque et sa collection de bronzes gallo-romains. Il nous contait aussi comment les petits cubes de pyrite de Barcelonnette, qu'il puisait dans les collections qui l'entouraient, lui tenaient lieu de jeu de constructions, à la grande joie de ses aïeul.

Dès la classe de 4^e, au lycée de Mâcon, il maniait déjà le chalumeau et lisait les ouvrages de Berzélius, de Pisani, d'Haüy et de Dufrénoy. A l'âge de 16 ans il publia sa première note, sur le fethbol, dans la feuille des jeunes naturalistes. A sa sortie de la classe de rhétorique, sur le conseil du minéralogiste Gonnard, demanda à faire partie de la Société minéralogique de France qui venait d'être fondée en 1878. Le 10 mars 1881, il était reçu par son président Ch. Friedel et, le 14 avril, il obtenait la publication d'une petite note sur la mélanite, l'une de ses premières récoltes minéralogiques du Lyonnais.

En octobre 1883, A. Lacroix vint à Paris et se fit inscrire à l'École de Pharmacie, mais son premier soin fut de se précipiter le 8 novembre, à la séance de rentrée de la Société minéralogique présidée par F. Fouqué. Il était tout tremblant, disait-il, au milieu de maîtres inconnus pour lui, mais dont la bienveillance devait rapidement devenir précieuse pour son avenir.

Il se présenta à Des Cloizeaux en lui offrant de beaux échantillons de microcline de l'Autunois, des minéraux de manganèse

manèche et divers autres échantillons provenant de ses es. Des Cloizeaux, agréablement surpris par les connaissances de son interlocuteur en voyant avec quelle facilité il reconnaissait les minéraux de sa collection personnelle, lui promit de l'aider à se perfectionner surtout en cristallographie ; il le fit venir souvent chez lui, et le prit comme secrétaire. Un de ses amis, Kokscharow, fils du célèbre cristallographe russe, vint visiter Lacroix au Collège de France pour y suivre l'enseignement de pétrographie donné par Fouqué et Michel-Lévy. Ce fut pour lui une véritable joie que de pouvoir consacrer une partie de son temps à s'initier aux méthodes nouvelles d'examen microscopique des minéraux et des roches, en lumière polarisée. Il suivait aussi les cours de Ch. Friedel à la Sorbonne, et de M. de la Roche à l'École des Mines.

En 1884 à 1887, sur la recommandation de Fouqué, et grâce aux subventions versées par la ville de Paris à l'École des Hautes Études, il fut successivement chargé de missions en Irlande, en Angleterre, en Norvège, en Suède, à l'île de Gotland, en Sardaigne, à l'île d'Elbe, missions qui lui permirent de perfectionner, par des observations sur le terrain, les connaissances minéralogiques et lithologiques qu'il avait acquises au Collège de France. Il contracta, en outre, au cours de ces voyages, de nombreuses amitiés parmi les savants de ces divers pays.

Pendant il n'avait pas abandonné en principe ses études de pharmacie. Il lui fallait choisir entre deux voies, et Fouqué, qui avait parfaitement discerné les aptitudes remarquables de son élève pour la science qu'il professait, le lui fit comprendre sans hésiter au retour de sa mission en Italie. Naturellement Lacroix choisit la Minéralogie, mais il passa pour la forme ses examens de pharmacie et reçut le diplôme de Pharmacien de 1^{re} classe le 1^{er} décembre 1887. Entre temps, Fouqué l'avait fait nommer professeur au Collège de France, et il devait rester à ce poste jusqu'à sa nomination de Professeur au Muséum, le 1^{er} avril 1893. Dans ses premières années de sa carrière, Lacroix les évoquait toujours avec émotion, surtout dans les moments où les multiples obligations de ses charges administratives le détournaient trop de

ses travaux scientifiques, et il nous rappelait les paroles que Fouqué lui répétait souvent : « Travaillez en paix, mon ami, sans autres soucis que vos recherches. Les années que vous passerez ici sont précieuses et elles seront les meilleures de votre vie. »

Lacroix suivit scrupuleusement ces conseils, il travailla avec acharnement. Et c'est au laboratoire de Fouqué qu'il commença à réunir la masse considérable d'observations et d'idées qui font aujourd'hui notre admiration. Avec Auguste Michel-Lévy, il rassembla dans un volume encore classique un grand nombre de données optiques et physiques afférentes aux minéraux des roches dont beaucoup sont nouvelles et lui sont dues. Cet ouvrage complétait fort utilement le célèbre traité de Minéralogie microscopique publié par Fouqué et Michel-Lévy en 1879.

Entre temps il achève la préparation de sa licence ès sciences, mais avant de passer l'examen, il part, chargé d'une mission du Ministère de l'Instruction Publique et du Muséum, pour visiter les États-Unis, le Canada, la côte de l'Atlantique, les Montagnes Rocheuses, la région des Lacs ; à son retour il est brillamment reçu, et un an après, soutient non moins brillamment sa thèse de doctorat sur les gneiss à pyroxènes et les roches à wernérite.

En 1890, A. Lacroix avait été nommé chargé de Conférences de Pétrographie à la Faculté des Sciences et répétiteur à l'École Pratique des Hautes Études, dans le laboratoire de Fouqué. Il y dirigea avec succès les travaux de pétrographie des candidats à l'agrégation. On sait en effet que Fouqué, membre du jury d'agrégation des Sciences naturelles (de 1880 à 1891), fut l'instigateur d'une réaction contre les méthodes d'Hébert qui, vers la fin de sa vie, ne considérait plus en géologie que la stratigraphie méticuleuse. Fouqué modifia les programmes et y introduisit les questions générales, puis la nouvelle pétrographie et la géologie régionale.

Ce fut pendant son séjour au Collège de France que A. Lacroix entreprit ses recherches sur le métamorphisme de contact, en s'adressant d'abord aux lherzolites pyrénéennes, et qu'il réunissait les matériaux, plus de 3.000 échantillons, nécessaires à ses travaux.

des enclaves des roches volcaniques. Ceux-ci lui valurent, en 1880, le prix Vaillant de l'Académie des Sciences (1). Ce furent le Jura, l'Alsace et les pays des bords du Rhin (depuis le lac de Constance jusqu'à Bonn) où il se rendit en 1891, qui lui apportèrent les observations les plus fructueuses sur cette question.

Grâce à ses nombreuses excursions en France, faites pour la plupart en qualité de collaborateur au Service de la Carte géologique, A. Lacroix avait visité la plupart des gisements de minéraux anciennement connus, il en avait découvert lui-même de nouveaux, et l'étude de plusieurs collections publiques où il lui avaient permis de compléter ses recherches personnelles. Or, à cette époque, la lecture des traités de Minéralogie ne faisait pas à faire considérer que la France était un pays pauvre en minéraux, et cela faussement, parce que les études minérales sur le terrain et les exploitations minières n'y étaient pas en faveur.

A. Lacroix était fort bien préparé pour réagir contre cet état de choses, et il eut très tôt (sans doute vers 1887), l'idée de publier une Minéralogie de la France et de ses colonies. Le premier tome de cet ouvrage, rédigé en 1892, parut en 1893. A. Lacroix pensa d'abord que deux volumes lui suffiraient pour embrasser son sujet, mais l'abondance des matières qu'il accumulait, la forme didactique nouvelle qu'il avait adoptée pour la présentation des familles de minéraux et de leurs conditions de formation, l'obligèrent à y ajouter trois autres volumes et à échelonner la publication de l'ensemble sur plusieurs années.

On sait combien est recherché, encore à l'heure actuelle, ce monumental ouvrage, qui marque une date dans l'histoire de la Minéralogie.

Pendant les 10 années que A. Lacroix passa au Collège de France, il fut bien, comme Fouqué le lui avait prédit, des années très utiles. Entouré de l'estime et de l'affection de ses maîtres, A. Lacroix put développer ses remarquables aptitudes et faire de nombreuses découvertes de son savoir. Mais il y trouva plus que les circons-

(1) L'insertion partielle de son mémoire dans le Recueil des Savants étrangers de l'Académie de Mâcon lui accorda ensuite l'hospitalité de ses annales pour sa publication entière.

tances exceptionnelles d'un travail fécond. Reçu dans l'intimité de la famille Fouqué, il ne tarda pas à y rencontrer le bonheur. Il devint le fiancé de M^{lle} Catherine Fouqué et l'épousa le 6 juin 1899, immédiatement après la soutenance de sa thèse, car A. Lacroix nous contait souvent que la conquête du Doctorat était la condition impérative mise par M. Fouqué à ce mariage. Beaucoup d'entre nous savent ce que fut cette union parfaite de deux personnalités en pleine communion de cœur et de pensée. M^{me} Lacroix fut pour notre collègue une compagne d'élite dévouée, collaboratrice de tous les instants. Elle l'accompagna pendant tous ses voyages. Tous deux doivent donc être étroitement associés dans notre fidèle souvenir.

Quand, en 1893, A. Lacroix fut appelé à succéder à Des Cloizeaux dans la chaire de Minéralogie au Muséum, son œuvre était déjà considérable. A 30 ans, le nombre et la valeur de ses publications le plaçaient dans une situation que bien des savants plus âgés pouvaient lui envier. Lorsqu'il prit possession de son poste, il venait d'effectuer un nouveau voyage d'étude parmi les volcans italiens. Il avait recueilli au Vésuve, dans la région de Naples, le Latium, les Monts Euganéens, une riche collection d'échantillons destinée à compléter ses recherches sur les enclaves. Il poursuivait d'autre part ses travaux sur les phénomènes de contact dans les Pyrénées.

Mais une tâche nouvelle l'attendait. Il lui fallait régénérer la collection de Minéralogie du Muséum, qui, depuis Alexandre Brongniart, était demeurée dans un demi-sommeil. A. Lacroix se mit immédiatement à l'œuvre. Il fit fermer la galerie au public pendant quelque temps et procéda à un inventaire complet, examinant un à un les échantillons. Puis, avec l'aide dévouée de Paul Gaubert, tout fut remis en place, en adoptant la classification chimique et cristallographique de P. Groth, à laquelle A. Lacroix apporta diverses modifications. Grâce à un don de la Compagnie de Saint-Gobain et des Verreries de Jeumont, les échantillons furent élégamment disposés sur d'innombrables plateaux de glace. Malheureusement, un grand nombre d'espèces n'étaient pas représentées, et il fallait, d'autre part, faire ressortir l'importance des ressources minérales de la France et de s

ties. Faute de crédits, on ne pouvait se procurer par des les compléments nécessaires ; A. Lacroix commença donc enrichir notre collection de ses récoltes personnelles, puis continua à l'alimenter par les dons qu'il savait habilement obtenir et par les matériaux que ses nombreux correspondants lui faisaient parvenir pour ses recherches. Cette activité dura de quarante années pendant lesquelles il s'astreignait aussi à renouveler et à varier la présentation des plus beaux spécimens, de rendre plus instructive et plus attrayante la visite de la Galerie. Quarante années, durant lesquelles il tenait à jour régulièrement lui-même au catalogue la nature et l'origine des échantillons incorporés, estimant que cette garantie d'authenticité qu'il leur donnait ainsi, répondait à l'un des devoirs les plus importants de sa fonction.

Parallèlement, A. Lacroix s'est consacré à l'organisation du laboratoire de Minéralogie du Muséum. N'ayant à sa disposition que des crédits restreints, hésitant par scrupule à se faire voter les subventions importantes que son autorité et sa personnalité croissante lui auraient permis d'obtenir, il l'a cependant peu à peu muni de l'outillage nécessaire aux recherches minéralogiques modernes ; il en a fait un centre de recherches et d'échanges, accueillant à tous.

Dès son entrée au Muséum, A. Lacroix eut la préoccupation constante de rechercher toutes les occasions d'enrichir la collection de matériaux provenant des colonies françaises dont la minéralogie était si peu connue. Son attention fut attirée tout particulièrement sur Madagascar. En 1895, en effet, à l'occasion d'une expédition de conquête, une exposition fut organisée au Muséum pour mettre le public au courant de l'histoire naturelle de la Grande Ile, et A. Lacroix ne put réunir qu'une centaine d'échantillons minéralogiques. C'est à partir de cette époque qu'il poursuivit des recherches dans ce sens « avec une volonté ferme, soutenue, a-t-il écrit, par une foi profonde dans l'intérêt scientifique de Madagascar, et par le désir de contribuer au développement matériel de notre nouvelle colonie ».

Quand le général Galliéri devint Gouverneur général de Mada-

gascar, A. Lacroix fut efficacement appuyé par lui auprès des administrateurs de l'île ; ceux-ci reçurent des instructions détaillées avec mission de recueillir méthodiquement des collections de minéraux et de roches, puis de les envoyer au Muséum pour être étudiées. Plusieurs officiers répondirent à cet appel. Deux d'entre eux, Mouneyres et Villiaume, furent particulièrement actifs et dévoués, et ils contribuèrent, en outre, à déterminer vers le Laboratoire de Minéralogie du Muséum « un courant de sympathie qui ne tarda pas à s'affirmer et à grandir ».

C'est ainsi que, pendant 25 ans, Lacroix a accumulé et étudié des matériaux remarquables sur la constitution minéralogique et lithologique de Madagascar. Un premier mémoire, paru en 1902 et 1903, sur les roches alcalines de la Province d'Ampasindava apportait une contribution exceptionnelle à nos connaissances générales sur cette série, et le monumental ouvrage en trois tomes sur la Minéralogie de Madagascar, réunissait un nombre prodigieux d'observations qui constituaient la base solide servant de point de départ aux recherches ultérieures.

Une autre date significative marque une étape décisive dans la carrière scientifique de notre illustre et regretté confrère, et en même temps, un progrès notoire dans le domaine de la Physique du Globe.

Le 8 mai 1902, alors que se poursuivait l'impression de son premier mémoire sur les roches d'Ampasindava, le vieux volcan de la Montagne Pelée (à la Martinique), éteint depuis des siècles, eut un réveil tragique. En quelques secondes, la ville de Saint-Pierre fut anéantie, ensevelissant sous ses décombres ses 28.000 habitants asphyxiés par la nuée ardente issue de son volcan.

A. Lacroix, quelques années auparavant (1896), avait visité l'île volcanique de Théra, dans l'archipel de Santorin, sous la conduite de Fouqué, car celui-ci tenait à lui montrer les lieux de l'éruption qu'il avait décrite en 1868. Il connaissait fort bien aussi le volcanisme du Vésuve. Il était donc tout désigné pour étudier sur place les circonstances de l'éruption terrifiante de la Montagne Pelée. Chargé de mission de l'Académie des Sciences et du Ministère des Colonies, il quitta Saint-Nazaire le 9 juin et

rena à La Martinique du 23 juin au 1^{er} août. A peine était-il rentré en France, le 16 août, après avoir visité le volcan de la Peloupe, qu'une nouvelle éruption survint le 30 août; le directeur des Colonies d'alors, Gaston Doumergue, lui demanda de retourner à la Martinique. Il y demeura alors du 1^{er} octobre au 13 mars 1903, en compagnie de M^{me} Lacroix. Il eut cette fois à sa disposition l'avis *Le Jouffroy* qui lui permit de développer largement ses observations. Celles-ci furent de qualité exceptionnelle. C'est grâce à elles, en effet, que nous savons comment se forment les dômes et les nuées ardentes.

Il exposa toutes les conséquences dans deux magnifiques ouvrages richement illustrés de photographies, dont quelques-unes parmi les plus belles, sont signées A. et C. Lacroix.

Les deux mémoires contribuèrent certainement à consacrer sa réputation, même au delà du cercle des spécialistes. Il fut élu membre de l'Académie des Sciences le 11 janvier 1904. « Je suis à l'Institut sous l'irrésistible poussée d'un volcan », aimait-il plaisamment, comme l'a rappelé M. Courrier dans l'excelsa biographie qu'il a donnée de lui lors de la séance publique annuelle de l'Académie des Sciences, le 13 décembre dernier. En 1905, il retourna en Italie, lors du tremblement de terre de Cassino, il parcourut encore la campagne du Vésuve, cherchant à comparer la destruction d'Herculanum et de Pompéi avec celle de Saint-Pierre, et concluant à la différence très nette entre les deux catégories de phénomènes qui furent la cause de ces deux catastrophes.

A peine était-il rentré en France, que le Vésuve, en activité depuis 1875, entre en violente éruption au début de 1906. Infatigable, A. Lacroix accourt pour étudier ce nouveau paroxysme.

À partir de cette date, ses voyages se sont succédé presque sans interruption. Comme l'a fait fort justement remarquer M. Jacob⁽¹⁾, ils ont pris de plus en plus le caractère de voyages de « contrôle » et de « coordination » par rapport aux voyages de

(1) JACOB. Notice sur A. Lacroix, Comptes rendus des séances de l'Académie des Sciences coloniales, t. VIII, 21 mai 1948, p. 299-316.

formation scientifique et d'études qu'ils étaient au début de carrière. Il voulait, disait-il, « visiter la plupart des régions pour lesquelles il possédait déjà des renseignements, afin de se faire une opinion, personnellement, et sur le terrain, sur les questions étudiées jusqu'alors seulement en laboratoire ».

En 1907, il retourne en Angleterre, à l'île de Wight, en 1908 en Sicile, à l'occasion de l'éruption de l'Etna. En 1911, il effectue un voyage de coordination à Madagascar et à la Réunion, où il va étudier le Piton de la Fournaise. En 1913, il parcourt la Guinée, le Soudan, où il recueille de précieuses observations sur la formation des latérites, et l'archipel de Los au large de Conakry où il étudie sur place la remarquable série des syénites néphéliniques à villiaumite dont il a su si bien débrouiller la constitution. Cette même année est encore consacrée à une longue randonnée au Canada, aux États-Unis et jusque sur la côte du Pacifique.

A partir de 1914, le rythme de ses voyages se ralentit. La guerre vient d'éclater. De plus, A. Lacroix vient d'être nommé Secrétaire Perpétuel de l'Académie des Sciences (le 8 juin). On sait avec quelle ardeur il se dévoua jusqu'à sa mort à ses hautes fonctions, les faisant bénéficier de son parfait désintéressement, des ressources de son immense savoir, et de sa grande puissance de travail. Avec l'aide de ses collègues G. Darboux, Em. Picard et de M. Gauja, le dévoué secrétaire administratif, réorganisa complètement le Secrétariat de l'Académie des Sciences, pour lui permettre de développer ses tâches. Il considérait qu'à côté de ses devoirs essentiels de Secrétaire Perpétuel, il lui fallait travailler à enrichir et classer les Archives de l'Académie. C'est ainsi qu'il sut acquérir pour elle de nombreux documents (autographes, portraits, médailles, etc.), d'un grand intérêt pour l'histoire des Sciences, qu'il veilla à la mise à jour constante d'un index biographique, et à l'amélioration de l'annuaire paru depuis 1923. D'autre part, on lui doit l'idée de constituer un inventaire des périodiques scientifiques des bibliothèques de Paris. Cet ouvrage, réalisé sous sa direction par M. Léon Buisson avec la collaboration des bibliothèques de Paris, rend les plus grands services aux chercheurs.

fut Secrétaire Perpétuel de l'Académie pendant 34 ans, bien
de battre le record détenu par Flourens qui occupa ce poste
1833 à 1868.

es qu'il fut nommé Secrétaire Perpétuel de l'Académie des
ces, Lacroix avait compris qu'il ne pouvait plus espérer
de longs voyages d'études. Toutefois, il eut la satisfaction,
aux reprises, de représenter l'Académie des Sciences au Con-
Panpacifique. La première fois à Tokio, en 1926, ce qui lui
la l'occasion d'effectuer un grand périple à travers le Japon
s volcans, la Corée, la Mandchourie, la Chine, le désert de
d, d'où il est refoulé de Kalgan vers Pékin par une révolution,
fin l'Indochine, dont il a visité les régions les plus caracté-
sues. La seconde fois, à Java, en 1929, il fera connaissance
des volcans des Indes Néerlandaises, la Malaisie, et sur le
fin du retour, la côte des Somalis.

ffurent ses derniers voyages.

n œuvre avait attiré sur lui l'attention du monde savant qui
en reconnaître l'originalité et la puissance. Il fut comblé
ineurs, souvent accompagnés de charges supplémentaires,
na connaissait ses remarquables aptitudes pour l'organisation
Administration. Il fut pendant plusieurs années président du
eil d'Administration de l'Institut Pasteur, membre ou pré-
et de plusieurs commissions ministérielles. Il s'intéressa
ement au développement de la Bibliothèque Nationale, de
de Coloniale, et de bien d'autres institutions. Il présida divers
es. Il était membre de presque toutes les Académies,
ore honoraire ou Docteur *honoris causa* d'une soixantaine
versités, d'Instituts étrangers et de Sociétés savantes. Il
titulaire de médailles renommées, entre autres celle de
ose, de la Société Géologique d'Amérique, qui, avant lui,
ait été décernée qu'à deux savants : T. C. Chamberlin et
Sederholm. Il fut promu grand officier de la Légion d'hon-
en 1935.

ur achever cette évocation bien rapide de la vie exemplaire,
ieuse et féconde de A. Lacroix, il me paraît important de
eler le rôle déterminant qu'il joua au début de l'organisa-

tion de la Recherche Scientifique dans les territoires d'outre-mer.

L'éruption de la Montagne Pelée, qui l'avait conduit pour première fois dans les pays tropicaux, avait orienté une grande partie de son activité ultérieure vers les Colonies. C'est ainsi qu'il devint un véritable pionnier de la Minéralogie et de la Lithologie coloniales. Puis, conjuguant son action avec celle de ses collègues en faveur des autres domaines des Sciences naturelles, il intervint inlassablement auprès de l'Administration coloniale pour démontrer que toute tentative de mise en valeur d'un territoire devait être précédée de son étude scientifique complète, qu'« la caractéristique essentielle de la Recherche Scientifique dans la France d'outre-mer réside dans la nécessité impérieuse de l'union intime des notions théoriques et de leur application aux buts pratiques ». « C'est là une vérité, disait-il, qu'il est opportun de faire comprendre à la fois dans les colonies et dans la métropole, si l'on veut arriver à la collaboration intellectuelle et matérielle des unes et de l'autre. »

Qu'il s'agisse de connaître les richesses éventuelles du sous-sol des Colonies, de choisir parmi les productions végétales de leur sol, d'apprendre comment améliorer leurs cultures et les défendre contre leurs ennemis si nombreux, d'améliorer la vie et la situation sociale des indigènes, tout cela ne peut être obtenu que par l'emploi de méthodes scientifiques mises en œuvre au départ sans but intéressé, « car les découvertes ne se font pas par volonté et sont généralement le résultat d'un long effort ». Et il le démontrait par toute une série d'exemples, empruntés notamment à notre discipline, comme ceux des riches gisements de radium du Katanga qui n'ont pas été cherchés, mais découverts au cours de la confection de la Carte géologique, comme aussi la découverte des minéraux radioactifs exploités à Madagascar, qui ont pour origine un minuscule cristal d'euxénite rencontré par lui à l'improviste dans une pegmatite du NW de l'île, en étudiant tout autre chose.

Le sort des chercheurs coloniaux le préoccupait également beaucoup. Il insistait sur la nécessité de leur donner un statut « qui leur assure la stabilité dans le présent et la tranquillité pour l'avenir ». Et c'est à l'appui de son autorité que nous devons le

des géologues coloniaux de l'Administration. Il voulait une collaboration étroite entre les organismes scientifiques de la métropole et ceux des colonies, soit pour la réalisation des recherches, soit pour la formation des chercheurs, et il demandait que ceux-ci fussent libérés d'un formalisme administratif excessif. Il participa à la création de la France d'outre-mer, annexe du Conseil National des Recherches fondé sous l'impulsion de Jean Perrin, et il donna son patronage au Bureau d'Études géologiques et minières coloniales dirigé par notre confrère F. Blondel. Enfin, en 1937, il présida le Congrès de la Recherche Scientifique dans les territoires d'outre-mer où furent tracées les grandes lignes d'un programme d'organisation dont s'inspirèrent ultérieurement les statuts de l'Office de la recherche scientifique coloniale.

M. A. Lacroix s'est passionné toute sa vie pour les territoires de la France d'outre-mer, non seulement en naturaliste, mais aussi en historien, et en écrivain sensible aux charmes et à la beauté des paysages tropicaux. Les pages qu'il leur a consacrées peuvent lui être enviées par bien des littérateurs de profession.

*
* *

II. — SON ŒUVRE.

L'œuvre de A. Lacroix est d'une telle richesse qu'il est bien difficile de prétendre la résumer en une courte notice. Je n'ai donc fait que souligner les caractères essentiels sans dissimuler les imperfections de cette esquisse, que j'ai voulu rendre digne du maître qu'elle désire honorer.

Le professeur Termier a dit de lui qu'il était le « philosophe des minéraux et des roches », et cette définition caractérise fort bien son œuvre. J'ajouterai qu'il fut un philosophe novateur ; il a renouvelé complètement la conception un peu étriquée que l'on avait de la Minéralogie, il y a quelque 60 ans. Il a élargi la portée de l'étude de l'espèce minérale, il a su en enrichir le contenu et en tirer toutes les conséquences. De sorte que, malgré la diversité apparente de ses travaux, ceux-ci procèdent toujours d'une remarquable continuité de vue et que l'unité de l'ensemble est incon-

testable. A plusieurs reprises d'ailleurs, Lacroix a dévoilé la genèse de son œuvre en caractérisant en même temps la physiologie de la Minéralogie nouvelle qu'il envisageait.

Ce faisant, il aimait à rappeler le souvenir de ses bons maîtres Des Cloizeaux, Fouqué, Michel-Lévy, Daubrée, Damour. « Ils avaient, par bonheur, disait-il, une façon assez différente de comprendre la science minéralogique. Certes les chemins qu'ils suivaient avaient des points communs, mais en bien d'autres ils étaient séparés par des barrières plus ou moins hautes, des fossés plus ou moins profonds. Leur libéralisme vis-à-vis des idées de leurs disciples m'a amené à la tentation de franchir ces barrières de sauter par-dessus ces fossés, et cet exercice hygiénique m'a conduit à la conception de la minéralogie que je cherche à développer autour de moi, non sans l'appliquer à moi-même. » « L'étude des minéraux peut se concevoir de bien des façons et c'est ce qui en fait à la fois le charme et la complication. Elle comporte l'union intime et nécessaire des sciences mathématiques, physiques, chimiques et naturelles. »

Cependant le minéralogiste, tel que le comprenait A. Lacroix ne doit pas considérer la cristallographie maintenant enrichie par la technique des rayons X, l'optique des cristaux, la détermination de la composition chimique des minéraux, « comme des fins, mais comme des moyens ».

« Il utilise les raffinements les plus modernes de ces divers procédés d'observation mais dans un but de naturaliste. »

« Toute la minéralogie ne consiste pas à étudier, poursuivait-il, même d'une façon très approfondie, la morphologie, l'ensemble et le détail des propriétés intrinsèques des minéraux, ceux-ci étant correctement spécifiés, à les situer dans une systématique. Tout cela est nécessaire, mais ce n'est qu'un commencement. Un minéral, en effet, n'est pas un objet inerte et isolé du monde extérieur; il est différent dans une certaine mesure d'un cristal fabriqué au laboratoire, encore que l'on puisse discuter à ce sujet. Il faut donc étudier également les modalités géologiques de ses gisements et déterminer aussi le rôle qu'il joue dans la nature. Là, plus qu'ailleurs, vont se rencontrer les barrières et fossés. »

Et dans cet esprit que Lacroix a conçu ses deux plus grands ouvrages, la *Minéralogie de la France* et la *Minéralogie de Madagascar*, ainsi que ses principales monographies sur des lithologies.

Amalant et coordonnant un nombre considérable d'observations nouvelles, cristallographiques, optiques, lithologiques, il a vu comment il était nécessaire d'établir un équilibre entre les méthodes d'observation avec l'intention non seulement de donner une description précise des minéraux envisagés pour eux-mêmes, mais de comprendre leurs manières d'être, leurs modes d'association, leur genèse et leurs transformations dans la nature.

L'union de la géologie et de la minéralogie doit être intime, et elle est indispensable et constitue mieux qu'un mariage fécond. Seule, elle peut conduire à des notions d'origine, but de toutes les sciences naturelles. ».

Et ainsi qu'il a étudié en détail le rôle que jouent les minéraux dans la constitution des roches, « ces incommensurables du règne minéral », qui avaient jadis rebuté Haüy, et il a surmonté les barrières factices, maintenues pendant si longtemps, entre la minéralogie et la lithologie ; il considérait celle-ci sous un point de vue de la minéralogie, spécialement appliqué à la géologie, et il avait substitué ce nom de lithologie à celui de pétrographie, employé autrefois, pour bien marquer la différence de conception et de méthode.

Aujourd'hui, des horizons nouveaux s'ouvrent maintenant à la géologie. Les progrès de l'analyse cristalline au moyen des rayons X ont habitué le minéralogiste et le géologue à raisonner à l'échelle atomique pour interpréter les faits mis en évidence. La chimie nucléaire elle-même peut leur apporter des résultats insoupçonnés.

Il n'en reste pas moins que, dans l'extrême variété des faits présentés à eux, A. Lacroix a su dégager la plupart des principes essentiels qu'ils posaient et conduire leur discussion de façon que le lui permettaient les techniques d'observation mises en œuvre à l'époque de ses recherches.

Parmi les grandes questions relatives à la genèse des roches éruptives, celle du métamorphisme de contact a retenu tout d'abord son attention. L'étude minutieuse des associations minérales caractéristiques des auréoles de contact produites dans les roches encaissantes, lui a donné la possibilité de reconstituer les phénomènes qui ont précédé, accompagné et souvent suivi la consolidation des roches éruptives. Il a étudié non seulement les contacts du plus grand nombre possible de roches de profondeur (herzolites, ophites, granites, syénites néphéliniques) mais encore recherché tout ce que les roches volcaniques peuvent fournir d'éclaircissements sur ce sujet. Sa conclusion, devenue classique, fait ressortir l'importance du rôle joué par les minéralisateurs et les produits volatils transportables, émanés du magma. Elle a apporté une confirmation éclatante aux idées depuis longtemps soutenues par Auguste Michel-Lévy dans ses travaux sur le granite. Elle est valable pour les deux sortes de métamorphismes, exomorphe et endomorphe, étroitement liés entre eux, puisque ce qu'assimile le magma éruptif lors de sa mise en place dans un sédiment calcaire ou argileux, ce n'est plus le sédiment normal, mais une roche transformée par les apports plus ou moins abondants fixés par elle et issue du magma en le devançant dans son mouvement.

Il a démontré, d'autre part, la qualité des transformations endomorphes des magmas granitiques au contact des calcaires.

Je ne puis évidemment entrer ici dans l'analyse détaillée des preuves, fournies par Lacroix, des apports dans le métamorphisme de contact. J'en rappellerai cependant une particulièrement significative : la présence de l'*axinite*, minéral boré, dans les calcaires au contact du granite du pic d'Arbizon, et parfois dans le granite lui-même. Son origine pneumatolytique est certaine, de même que celle de tous les minéraux de métamorphisme qui l'accompagnent.

Par ailleurs, les recherches de Lacroix sur les enclaves des roches volcaniques ont mis en lumière le métamorphisme des laves. Mais alors que l'intensité des phénomènes de contact est comparable pour des roches aussi basiques que les herzolites et d'autres aussi acides que le granite, ici, dans le cas des

volcaniques exerçant leur action sur une même roche ée, il faut nettement distinguer les roches basiques d'avec les roches acides.

A. Lacroix a montré, en effet, que les modifications exercées par les premières qu'il a appelées par abréviation *roches basaltoïdes* sont essentiellement d'ordre physique et dues à la chaleur seule, tandis que les modifications provoquées par les roches acides, les *roches trachytoïdes* sont essentiellement d'ordre chimique, et qu'elles requièrent les modifications dues à la chaleur, car dans ce cas la lave étant très visqueuse retient plus longtemps ses minéraux. Ces modifications s'observent dans les enclaves qu'il appelle *enalloènes* et qui consistent en fragments de roches drusiques (granites, gneiss, schistes, calcaires, grès, ...) arrachées par la lave pendant son ascension souterraine ; les enclaves *pneumogènes* qui ont la même composition que la roche englobante et peuvent être regardées comme sa forme grenue de projection, sont au contraire en relation génétique directe avec le magma. A. Lacroix en distingue plusieurs sortes sur lesquelles nous insistons ici ; certaines d'entre elles, les enclaves *pneumogènes*, riches en minéraux drusiques, portent l'empreinte évidente d'actions pneumatolytiques survenues dans les cavités et fissures du substratum. Elles ont été arrachées en profondeur, mais elles n'ont pas une origine purement magmatique.

Les actions pneumatolytiques, A. Lacroix les étudie minutieusement encore dans son magistral mémoire sur les produits de l'éruption du Vésuve de 1906 ; il examine les circonstances dans lesquelles les minéralisateurs peuvent prendre naissance, soit qu'ils agissent sur la roche en voie de solidification, soit qu'ils se renouvellent pendant leur libération au cours de cette éruption, soit au contraire qu'ils restent en relation avec la roche pendant leur action sur la roche consolidée.

Ces phénomènes offrent les caractères d'une véritable *autolyse*, et cette notion dégagée par A. Lacroix est maintenant devenue classique.

Une observation de la plus grande importance, en liaison avec ces recherches sur la transformation des laves, a été faite

par A. Lacroix sur les conditions de cristallisation du quartz dans les roches volcaniques. C'est l'étude de la composition minéralogique et de la composition chimique de la lave d'origine tuffique accumulée dans le vieux cratère sous forme de dôme de la Montagne Pelée, lors de l'éruption de 1902, qui lui en a fourni l'occasion. Il lui a été possible de suivre jour par jour, pendant plus d'une année, les variations de la structure et de la composition minéralogique de cette lave en fonction de tous les phénomènes éruptifs (notamment l'intervention de la vapeur d'eau accompagnant sa mise en place ; et « c'est ainsi, a-t-il écrit, pour la première fois sous l'œil conscient de l'homme, on a pu assister à la naissance du quartz dans une roche volcanique ». Cette observation a apporté une démonstration expérimentale de cette notion qu'une roche microgrenue quartzifère peut se produire presque à la surface du sol et que, par suite, les roches dites de profondeur, telles que le granite, ne différant des précédentes que par une cristallinité plus grande, peuvent être dans bien des cas, de formation beaucoup moins profonde qu'on ne l'admet généralement. »

Les belles expériences de MM. Albert Michel-Lévy et J. Wyss sur les reproductions de la cristobalite et du quartz, réalisées en présence soit de l'eau liquide, soit de la vapeur d'eau, ont confirmé récemment cette découverte de A. Lacroix.

Elles démontrent péremptoirement l'influence prépondérante de l'eau dans l'apparition du quartz, à des températures relativement basses, voisines de 340°.

L'orientation prise par A. Lacroix dans ses recherches sur le mode de formation des minéraux et des roches devait fatalement le conduire vers la réalisation d'expériences synthétiques analogues à celles entreprises par ses maîtres Fouqué et Michel-Lévy, de 1878 à 1881. Par le même procédé de la fusion purement ignée, suivie d'un recuit approprié, il a montré la véritable signification des *ariégites* qu'il venait de découvrir dans les Pyrénées. Ces roches, essentiellement constituées par des pyroxènes, des spinelles, du grenat et parfois de l'amphibole, ne sont pas des roches de fusion purement ignée. Par fusion

en effet, elles fournissent des roches microlitiques, lithiques, représentant divers types de basalte, riches en silice, ce que la composition chimique permettait de prévoir et qui viennent confirmer par ailleurs les déductions tirées de l'observation des phénomènes de contact des lherzolites.

Pendant l'insuffisance des crédits ne permit pas à Lacroix de continuer ses recherches dans cette voie; il lui aurait été difficile, nous confiait-il, de rivaliser avec les riches laboratoires de l'Institut Carnegie à Washington, qui s'équipaient rapidement, et où Bowen, Daly, Allen et toute une pléiade de chercheurs, pouvaient bénéficier d'un outillage moderne. Mais il est certain que les enseignements fournis par l'étude des volcans ont tenu lieu de véritables expériences, et c'est dans cette voie qu'il s'orientait, comme nous l'avons vu précédemment.

Cela a conduit à réunir une somme d'observations qui conserve toujours leur valeur, quelles que soient les hypothèses qu'on puisse déduire des données les plus récentes de la physique. Et l'idée des apports de substances, du rôle de l'eau et des fluides minéralisateurs dans l'interprétation des phénomènes de métamorphisme et dans la formation de certains minéraux, a été toujours à l'esprit. Les plus hardis défenseurs des théories de l'état solide sont obligés d'en tenir compte pour expliquer notamment la formation des gneiss profonds et des migmatites.

Quant à ses recherches sur la formation des minéraux et des roches, Lacroix a porté son attention sur les synthèses réalisées dans diverses circonstances fortuites. C'est ainsi qu'il tire de conclusions du plus haut intérêt de l'étude des phénomènes de cristallisation présentés par les roches des forts vitrifiés, des schistes houillers transformés par les incendies souterrains, de l'étude des produits de l'incendie de Saint-Pierre (voir la note sur le *trachyte*), et des scories athéniennes des mines du Laurium.

Les fulgurites ont retenu particulièrement l'attention de Lacroix qui leur a consacré plusieurs notes. On sait que ces formations résultent de l'action de la foudre sur les

sables quartzeux des dunes. Ce sont des tubes de silice fondus à parois internes vitreuses et vernissées. A. Lacroix a minutieusement décrit celles du Sahara ; il a étudié le mécanisme de leur formation, et a montré la nécessité de considérer cette silice fondue naturelle comme une espèce minérale distincte, qu'il a appelée lechatéliérite en l'honneur d'Henri Le Chatelier.

Depuis longtemps, A. Lacroix s'était consacré à la classification des roches éruptives, non pas avec le dessein limité du systématicien, mais toujours avec le souci dominant de déterminer leurs relations mutuelles dans le temps et dans l'espace, chercher à définir les conditions de leur genèse, en discutant la fois les observations minéralogiques et les données chimiques quantitatives réunies sur elles.

Pour ses dernières, il s'est appuyé sur la classification chimico-minéralogique des magmas, proposée par les pétrographes américains : Cross, Iddings, Pirsson et Washington, mais en retenant seulement de celle-ci l'emploi des paramètres magmatiques. « Je demande cet appui, dit-il, à la classification chimico-minéralogique, proposée par les pétrographes américains et que je considère comme plus adaptée à mon dessein que d'autres principes, plus essentiellement chimiques proposés par divers auteurs. Mais je m'en sers seulement comme adjuvant des observations minéralogiques faites à l'aide du microscope. »

Je ne puis évidemment entrer ici dans les détails, mais je signifierai un résultat important de l'utilisation rationnelle de ces notions mariant en quelque sorte les trois points de vue de la minéralogie, de la chimie et de la géologie. Lacroix a pu expliquer ainsi la formation de plusieurs types lithologiques dont l'origine était obscure, par exemple ceux auxquels il a donné le nom de types *hétéromorphes*, *doliomorphes* ou *cryptomorphes* représentant des roches ayant même composition chimique globale mais minéralogiquement différentes.

Les nombreuses monographies lithologiques qu'il a publiées sont toutes établies sur les mêmes principes. Elles renferment des milliers d'analyses originales exécutées avec rigueur par le chimiste Raoult, associées à des descriptions pétrographiques

riques extrêmement fouillées. Discutant les unes et les autres, il montre dans chacune de ces sortes de fresques, comment sa méthode permet de dégager des vues nouvelles, concernant la parenté et la genèse des roches cristallines et les problèmes minéralogiques et pétrographiques (1).

Études réparties dans des centaines de mémoires et de conférences constituent les matériaux incomparables d'un traité des roches éruptives et métamorphiques semblable à sa *Minéralogie de France* ou à sa *Minéralogie de Madagascar*, mais il n'a jamais pu se résoudre à écrire cette œuvre de synthèse. Il a voulu, jusqu'à la fin de sa vie, se consacrer à l'étude des matériaux nouveaux qui lui parvenaient. Et il s'est borné à exposer les principes de sa classification dans ses leçons du Muséum, dans sa conférence lithologique de sa *Minéralogie de Madagascar*, et dans son appendice à un mémoire sur les roches éruptives de l'Indochine (1933).

Même les monographies lithologiques qu'il nous laisse, il faut donner spécialement celle qui traite de la constitution minérale et de la genèse des pegmatites, et qu'il a incorporée à sa *Minéralogie de Madagascar*. A. Lacroix a beaucoup étudié les pegmatites, et plus particulièrement celles de la Grande Ile qu'il a comparées à celles des États-Unis. On lui doit la distinction entre les pegmatites potassiques et les pegmatites sodolithiques, si importante pour la prospection des minéraux uranifères, puisque ces derniers n'ont été rencontrés que dans les premières. Il a mis en évidence, dans les pegmatites sodolithiques, l'existence de deux phases de cristallisation, l'une constructive, l'autre destructive, qui fournit des minéraux néogènes aux dépens des minéraux formés pendant la première phase.

A. Lacroix a apporté d'importantes contributions à l'étude des phénomènes d'altération des minéraux et des roches et son travail sur la formation des latérites est universellement connu. C'est lui qui a précisé le mécanisme de la concentration des oxydes de fer et d'alumine au cours de l'altération des roches

1. Dans cette tâche, il a eu la bonne fortune, depuis 1922, de rencontrer l'aide dévouée et dévouée de M^{me} Jérémine.

silicatées sous les climats tropicaux. Il s'intéressait aux sciences agronomiques et à la Pédologie, et les pédologues ont toujours près de lui un soutien efficace dans le développement de leurs recherches. Il était membre de l'Académie d'Agriculture depuis 1920.

L'étude des roches terrestres l'a conduit à celle des roches d'origine cosmique, les *météorites* et les *tectites*. Il a appliqué aux météorites pierreuses les mêmes notions chimico-minéralogiques qu'aux roches terrestres, et il en a donné une classification naturelle, cherchant toujours à déduire de leurs caractères structuraux des données sur leur origine. Ses recherches dans ce domaine furent accélérées, en 1926, à l'occasion du transfert de la collection des météorites du service de Géologie du Muséum à celui de Minéralogie. On sait que cette collection, née sous l'impulsion de Daubrée en 1861, agrandie encore par son successeur Stanislas Meunier, occupe une des premières places parmi les grandes collections mondiales. A. Lacroix l'a remarquablement enrichie par de nombreux morceaux provenant de chutes nouvelles, survenues principalement dans les territoires de l'Union française (Fer de Tamentit, eucrite de Bereba, diogénite de Tatouine, etc...) ou par des acquisitions de fragments de chutes anciennes. Et il en a complètement renouvelé la présentation dans la Galerie du Muséum.

Il l'a enrichie aussi d'une précieuse collection de *tectites* qui est peut-être unique au monde. Ces curieux fragments de verre fondu, de couleur noire ou verte, avaient longtemps exercé la sagacité des naturalistes. Ayant eu l'attention attirée sur eux en 1928 par un petit échantillon de 3 gr trouvé parmi quelques fragments de minéraux que lui avait envoyé un collecteur de plantes, M. Poilane, A. Lacroix a réuni en 3 ans, par l'entremise de nombreuses personnes qu'il a su intéresser à cette question, et littéralement mobiliser, une quantité considérable de précieux matériaux provenant de gisements indochinois nouveaux. Il a pu ainsi reprendre leur étude sur des bases nouvelles, toujours avec la même sûreté de méthode qui caractérise tous ses travaux, et conclure à leur origine extra-terrestre ; au point

géologique, elles sont les homologues des roches granitiques, de même que les météorites sont les homologues des roches situées dans les couches profondes de la terre. Et il a émis l'hypothèse originale qu'elles se seraient formées dans l'atmosphère terrestre, par oxydation violente et à haute température d'un type de météorites uniquement métalliques, formées essentiellement de silicium et de métaux légers, instables en présence de l'oxygène.

Géralogiste, pétrographe, géologue, Lacroix, nous l'avons vu précédemment, a parcouru le monde à la poursuite des connaissances volcaniques. « Les volcans sont de mes amis », disait-il. Aussi la volcanologie constitue-t-elle une partie importante de son œuvre.

En début de sa carrière il s'est attaché surtout à l'étude des phénomènes rejetés par eux et à voir d'abord dans certaines manifestations de leur activité de véritables expériences dont il devait examiner avec fruit les résultats, le mécanisme lui-même. Les éruptions ont bien vite et longuement retenu son attention surtout depuis son voyage à la Martinique.

Les constatations qu'il avait faites lors des éruptions de la Montagne Pelée, l'étude de l'activité du volcan de Saint-Vincent et ailleurs l'ont conduit à « insister sur cette idée que la forme même du dynamisme d'un volcan est déterminée non seulement par la composition chimique de son magma (comme on l'admettait jusqu'alors) mais surtout par l'état physique de celui-ci, sa fluidité, sa viscosité plus ou moins grande *au moment de l'éruption*.

Il a codifié d'une façon claire et complète les divers types de dynamisme éruptif : types hawaïen, strombolien, vulcanien. A ce type il ajoute le type péleén, caractérisé par la production de coulées sur les flancs du volcan avec une vitesse accélérée. Il donne le nom de nuées péleennes, de signification plus précise que celui de « nuées ardentes », parce qu'on peut concevoir de semblables nuées à une température inférieure à celle qui caractérise les éruptions des Antilles.

Enfin, dans ce type de dynamisme, est très visqueuse et ne s'écoule plus. Elle émerge en une large excroissance ayant la

forme d'un dôme et poussant la voûte solidifiée. Si celle-ci tend, une aiguille géante peut surgir de la fissure béante comme le métal sortant d'une filière. Ce phénomène unique fut observé par Lacroix à la Montagne Pelée et lui suggéra l'explication de la formation des dômes dans les volcans d'Auvergne.

D'autre part, A. Lacroix a montré qu'un édifice volcanique souvent complexe et qu'au cours de son histoire il a pu présenter plusieurs formes de dynamisme.

Il a soutenu l'idée de l'indépendance des tremblements de terre et des éruptions volcaniques, celles-ci n'étant généralement accompagnées que de secousses produites par l'éruption elle-même et n'ayant pas les caractères des tremblements de terre proprement dits, d'origine tectonique. Cette opinion est maintenant adoptée généralement.

Lacroix aida puissamment à l'organisation en France des Instituts de Physique du Globe, et au développement des recherches géophysiques dans les territoires d'Outre-Mer (1). Il s'est intéressé tout spécialement à la création, à la Martinique, d'un observatoire destiné en particulier à des études sur les relations entre divers phénomènes géophysiques et l'activité volcanique.

Cet observatoire, doté grâce à son appui, d'un outillage excellent, est devenu un centre important, maintenant rattaché à l'Institut de Physique du Globe de l'Université de Paris.

La prodigieuse activité de A. Lacroix a franchi les limites de sa spécialité, car il avait un goût marqué pour l'Histoire des Sciences, et dans ce domaine comme dans celui des Sciences de la Terre, il a fait preuve de dons exceptionnels.

Il trouva l'occasion de les exercer dans ses fonctions de Secrétaire Perpétuel qui lui imposaient de donner périodiquement des biographies de membres disparus de l'Académie des Sciences. L'accomplissement scrupuleux de ce devoir, renouvelé 15 fois dans les séances publiques annuelles, nous a valu une longue

(1) Il fut président du Comité National français de l'Union Internationale de Géodésie et de Géophysique, et président de la section de Volcanologie de cette Union, de 1922 à 1927.

de portraits, brossés de main de maître avec beaucoup d'enthousiasme, de vérité, de science, et parfois aussi d'ironique

En joignant ceux-ci à quelques autres biographies inédites où, dans divers recueils et à de brefs discours prononcés dans des cérémonies commémoratives, il constitua un ensemble de dix volumes avec photographies et autographes, sous le titre *Portraits de savants*, qu'il publia de 1932 à 1938. Dans l'avant-propos de cet ouvrage, Lacroix nous fait part du mobile profond qui l'animait en poursuivant cette tâche. C'est qu'il considérait l'histoire de la science avait « pour objet d'établir la filiation des idées, des recherches, des découvertes, et de permettre ainsi de mieux comprendre, d'en déduire plus facilement des conclusions générales sur les grandes lois de la Nature ».

En outre, ajoutait-il, *l'histoire de la Science* ne saurait être séparée de *l'histoire des savants*. Il n'est pas indifférent de connaître leurs antécédents, leur caractère, l'évolution de leur carrière que furent les conditions de leur existence, les circonstances favorables ou difficiles du milieu où ont été effectués leurs travaux ; d'en savoir aussi l'origine, de suivre le développement de leurs conceptions et de leur réalisation, en fonction de l'état de la science et de la culture scientifique et sociale de leur temps. »

Lacroix attachait beaucoup d'importance à cette influence du milieu où vivaient ses personnages sur l'évolution de leurs idées et la réalisation de leurs œuvres, et il estimait, d'autre part, que l'un des rôles de l'histoire des Sciences était de « rendre à tout homme de science la justice qui lui est due ».

Dans la préface de sa notice sur Dolomieu, il nous a dévoilé la méthode qu'il a suivie dans ses travaux historiques. « Pour constituer l'histoire de ce minéralogiste, je me suis attaché à suivre la marche rigoureuse usitée pour l'étude d'un minéral : traiter le sujet sous tous ses aspects, ne laisser dans l'ombre aucun détail, parût-il au premier abord indifférent, puisque des faits minimes entraînent parfois des circonstances imprévues ; rassembler des données numériques précises et n'accepter comme exactes que celles pouvant être sévèrement contrôlées, situer le personnage dans le temps et dans l'espace, rechercher l'influence

du milieu sur lui et aussi celle qu'il a exercée sur son entourage coordonner enfin les observations ainsi recueillies pour définir l'homme et son œuvre. Telle est la bonne méthode de l'histoire naturelle et sans doute aussi celle de l'histoire tout court. »

Dolomieu, d'ailleurs, est une des figures les plus attachantes qu'il nous ait révélées. Il nous en fit revivre bien d'autres. Ses premières notices concernent surtout des savants de la métropole, mais en 1922, il fait un bel éloge de Grandidier et de son œuvre à Madagascar et à partir de 1932, tous ses discours portent sur des naturalistes ayant travaillé dans les Colonies françaises à la fin du XVIII^e et jusqu'au début du XIX^e siècle, montrant ainsi l'importance qu'il donnait à la Recherche scientifique dans les territoires d'Outre-Mer.

*
* *

III. — LE SAVANT ET L'HOMME.

Il me faut maintenant conclure et tenter de définir en quelques lignes la riche personnalité d'Alfred Lacroix.

Que ne puis-je en cet instant trouver les accents qui jaillissent si spontanément sous sa plume, lorsqu'il glorifiait la mémoire de ses maîtres !

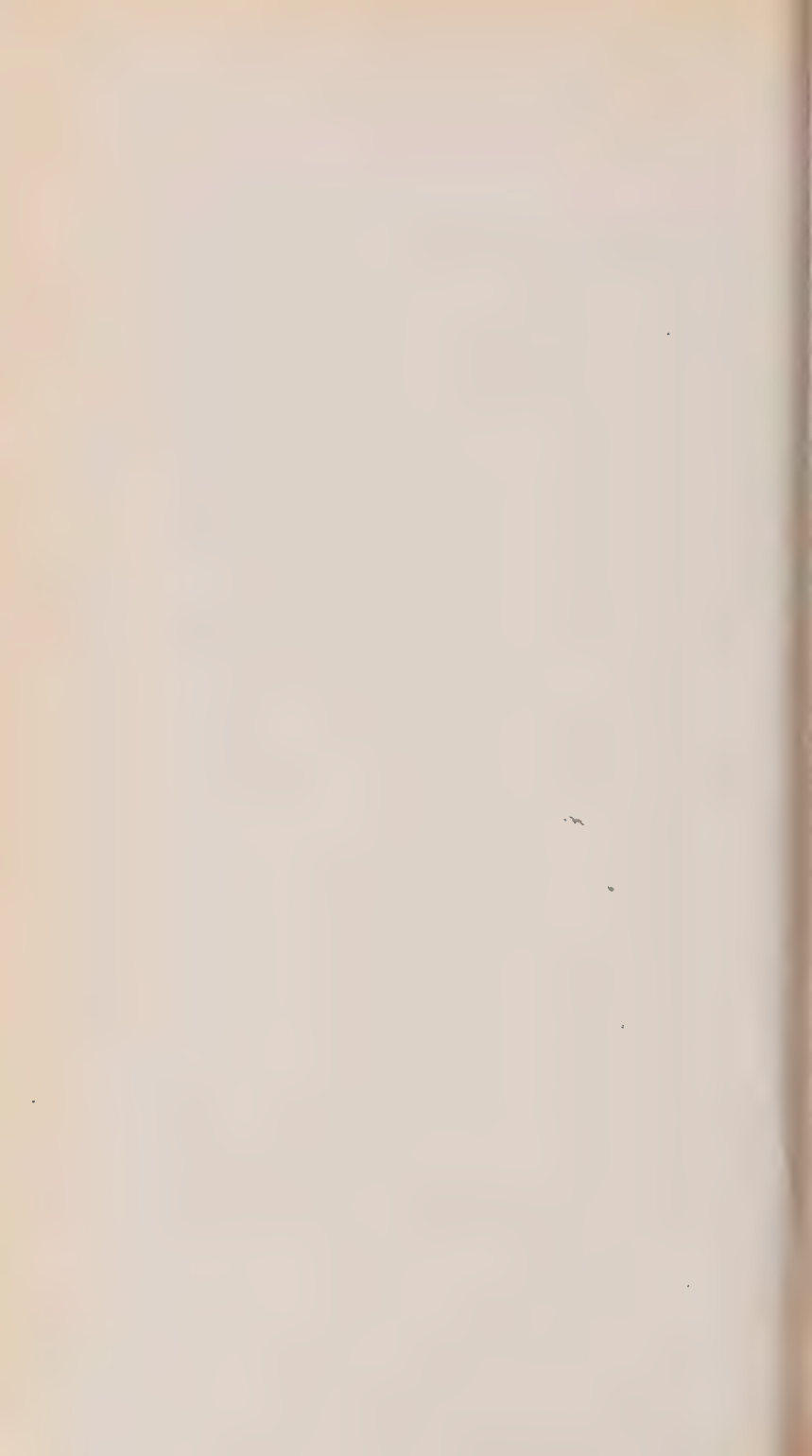
Lacroix avait un véritable tempérament de naturaliste, servi par un don exceptionnel de l'observation, et une prodigieuse mémoire. Son esprit était constamment en éveil, son coup d'oeil prompt et sûr. Minéralogiste né, sa connaissance parfaite des associations minérales lui faisait pressentir immédiatement la nature d'espèces particulièrement difficiles à reconnaître, et soupçonner rapidement les espèces nouvelles. A ce sujet, la découverte de la thortveitite qu'il sut deviner dans un lot d'échantillons provenant de Madagascar, que nous examinâmes ensemble, restera gravée dans ma mémoire comme l'exemple le plus frappant de cette perspicacité peu commune.

Doué d'une puissance de travail exceptionnelle, qu'il a pu développer sans obstacles, il avait toujours en chantier plusieurs sujets de recherches, accumulant les matériaux et les observations nécessaires à l'étude des uns et des autres.



M. A. LACROIX, au milieu de ses élèves, en 1931.

Debout, de gauche à droite : M^{re} Gubler, MM. Novacek †, V. Babet †, Dr. Veillard †, P. Gaudert †,
M. Roubaud, A. Lacroix †, Slavik, Duruerin, N. F. Ruellan, de Choubetsky, M^{re} O'Neill, M^{re} Y. Brierre.
Assis, de gauche à droite : J. Ortel, A. Richard †, Mario de Jesus, Yang Kueh, U. Droopy †, M^{re} E. Jérémine,
MM. N. Kouriatshy, Malavoy †, M^{re} S. Caillère, Li Shi Lin.



Quand l'un d'entre eux était mûr, il préparait immédiatement, un mémoire ou un livre, suivant son importance, serré près les faits, les analysant dans toutes leurs conséquences, les comparant habilement entre eux, en faisant jouer son imagination d'une remarquable imagination, toujours soumise au contrôle de l'expérience.

Ses livres, a dit P. Termier, en lui remettant le 28 avril la médaille Gaudry, décernée par la Société géologique de France, sont de véritables trésors d'observations minutieuses et précises, faites avec un tel soin et une telle conscience qu'elles restent presque toujours définitives. »

Il professait une extrême prudence dans l'interprétation de ses résultats et les théories que l'on pouvait en déduire. Il était hostile aux extrapolations hâtives s'éloignant trop des faits connus ; il aimait répéter qu'il procédait toujours du connu à l'inconnu. Il raillait amicalement les géologues sur ce point, en faisant allusion aux discussions terriblement animées qui se produisaient parfois au cours de leurs rencontres.

Il était ennemi de tout conformisme. Ainsi, à propos de la découverte connue en France la théorie des cratères de soulèvement, il fit cette pertinente remarque dans son discours inaugural au Congrès des Sociétés Savantes, le 11 avril 1931, à Font-Ferrand : « Il est singulier, et aussi attristant, de voir que, en dépit de retentissantes aventures de ce genre, pour les sciences qui ne devraient être régies que par l'observation rigoureuse des faits, la prudence et le bon sens, il arrive que l'esprit irraisonné d'imitation fasse chez beaucoup de chercheurs des ravages comparables à ceux de la mode, quand il s'agit de toilette féminine. »

Il laissait à ses élèves la plus grande liberté dans leurs recherches, et ceux-ci, pourvu qu'ils travaillent avec ardeur, trouvaient toujours près de lui un appui vigilant et efficace. Ses bureaux étaient une véritable mine de documents, d'observations et d'idées. Sa pensée extrêmement riche et rapide (son défaut aussi, hélas, au grand détriment des notes de ses élèves), alimentait une succession d'exemples et de descriptions, de conclusions générales également, qu'il présentait avec

vigueur et clarté. Au laboratoire, il aimait travailler au milieu de ses élèves, près de ses collections de roches qu'il entretenait avec amour, et sa belle silhouette, penchée sur le microscope, est inoubliable pour eux comme pour ses collègues qui venaient lui rendre visite.

A la Société de Minéralogie, les plus anciens parmi nous rappellent certainement la joie qu'ils éprouvaient quand il prenait la parole à nos séances, pour nous présenter les plus beaux minéraux des territoires d'outre-mer, principalement de Madagascar, et nous en décrire minutieusement les modes de gisement. Il n'arrivait jamais à nos séances les poches vides, et celles-ci fermaient souvent une découverte.

Lacroix était un homme d'une haute conscience et d'une grande largeur de vues, courageux, équitable, bon, accueillant à tout. « La bienveillance, c'est quelque chose dans la vie des hommes », s'est-il écrié un jour dans un de ses discours académiques, il savait la pratiquer largement autour de lui.

Sa pondération n'excluait pas une certaine audace lorsqu'il s'agissait de procéder aux réformes nécessaires dans les méthodes de travail des organismes scientifiques ou administratifs auxquels il apportait son concours. A ce sujet, on trouve dans sa notice sur Beudant une réflexion significative. Après avoir parlé du goût de celui-ci pour la grammaire, et des aperçus originaux, même révolutionnaires, que ce minéralogiste avait développés dans cette science du langage, Lacroix écrit : « Tout ceci m'a porté à penser que pour maintes disciplines littéraires, comme aussi pour le maniement de beaucoup d'organismes intellectuels ou administratifs touchant aux choses de l'esprit, et peut-être même à d'autres, il n'est pas indifférent que de temps en temps quelque intrus intelligent fasse une incursion dans les plate-bandes des spécialistes. Il n'en écrase pas toujours les fleurs délicates, il lui arrive parfois de faire d'originale et utile besogne. »

Doué d'une grande finesse d'esprit, Lacroix était souvent enjoué et maniait l'ironie sans méchanceté. Il créait autour de lui une atmosphère d'une franche cordialité qui s'alliait fort bien d'accord avec la dignité de son attitude. Il faisait naître ainsi chez



M. A. Lacroix, observant au microscope,
la salle des collections pétrographiques du Laboratoire de Minéralogie
du Muséum (1931).

èves et ses collègues un profond attachement et une déféction.

Lacroix aimait la simplicité et la sincérité, il était l'ennemi des conventions sociales quand elles ne correspondaient pas à l'appel du cœur. Aussi n'appréciait-il guère parfois les manifestations extérieures que lui imposaient ses fonctions, et il les refusa lui-même. Beaucoup savent déjà quelle fut son ultime volonté inscrite dans son testament. Mais il est bon de répéter ce dernier témoignage de modestie de sa part : « Je rappelle que je veux être inhumé sans cérémonie d'aucune sorte, en présence de mes miens seulement. Cela ne veut pas dire que je suis indifférent vis-à-vis de mes confrères, élèves et amis, mais je tiens à ne demander que peu de prix aux manifestations extérieures. Je demande seulement de me consacrer une petite place dans le souvenir ce qui peut se faire sans quitter son travail et sa demeure normale. »

Travailler, ce fut son unique préoccupation jusqu'à ses derniers jours. Ce fut aussi son ultime consolation quand la mort⁽¹⁾, vigilante compagne de toute son œuvre eut ébranlé cruellement sa prodigieuse vitalité. Il s'est éteint doucement le 22 octobre 1944. Quatre jours auparavant il était encore venu à son laboratoire.

Lacroix conservera dans notre souvenir et dans nos cœurs une petite place, mais la première place.

En l'histoire de la Minéralogie, il appartient à cette époque de transition durant laquelle cette science a progressivement gagné le caractère descriptif qui dominait en elle pour devenir explicative. Lacroix est un de ceux qui a le plus efficacement contribué à provoquer cette métamorphose. Son œuvre solide comme le granite, elle est celle d'un des plus grands représentants de la Pensée française.

⁽¹⁾ Survenue le 22 octobre 1944.

OUVRAGES, MÉMOIRES ET NOTES SCIENTIFIQUES D'ALFRED LACROIX

A. Lacroix avait commencé à réunir les éléments d'une autobiographie qui comportait notamment une liste complète de ses titres et de ses travaux. Cette liste, établie avec l'aide de M^{me} Jérémime, était à l'impression peu de temps avant sa mort, et il en avait même corrigé les épreuves.

Elle figure *in extenso* dans la notice historique que M. R. Courrier, secrétaire perpétuel de l'Académie des Sciences, a consacrée à notre regretté confrère dans la séance publique annuelle de l'Académie, le 13 décembre 1948.

Nous en reproduisons ici l'essentiel, qui a été publié également à la suite de ma notice au Bulletin de la Société géologique de France (3^e série, t. 19, 1949, p. 355-408).

1879. Le fettebol. *Feuille Jeunes Naturalistes*, t. 9, p. 120.
1881. Note sur la mélanite de Lantigné (Rhône). *Bull. Soc. fr. Minéral.*, t. 4, p. 84-87.
1883. Sur la wulfénite du Beaujolais. *Ibid.*, t. 6, p. 80-83.
Sur la production artificielle de cristaux de gypse. *Ibid.*, t. 6, p. 173-175.
Sur la formation accidentelle des cristaux de cérusite, etc., sur les monnaies romaines. *Ibid.*, t. 6, p. 175-178.
1884. Sur les cristaux d'olivine des sables de projection de la plaine de Sables (Ile Bourbon, actuellement Réunion). *Ibid.*, t. 7, p. 174.
Sur la barytine (volnyne) de Chizeuil (S.-et-L.). *Ibid.*, t. 7, p. 176.
Sur la présence de la carpholite, de la buratite et de la calédonite dans le Beaujolais. *Ibid.*, t. 7, p. 461-463.
Sur la greenockite de quelques localités nouvelles (Pierrefitte, Wanlockhead, Laurium). *Ibid.*, t. 7, p. 463-466.
1885. Sur le diagnostic des zéolites en l'absence des formes cristallines déterminables. *C. R. Ac. Sc.*, t. 101, p. 74-77.
Examen optique de quelques minéraux peu connus. *Ibid.*, t. 101, p. 1164-1166.
Sur un hydrocarbonate de plomb (hydrocérusite de Wanlockhead, Écosse). *Bull. Soc. fr. Minéral.*, t. 8, p. 35-36.
Sur la plumbocalcite de Wanlockhead. *Ibid.*, t. 8, p. 36-38.
Sur la forme et les propriétés optiques de la barytine de Romanèche (S.-et-L.). *Ibid.*, t. 8, p. 39-41.
Sur deux variétés de gœthite de Chizeuil et de Romanèche. *Ibid.*, t. 8, p. 41-42.
Sur l'harmotome de Bowling (Écosse). *Ibid.*, t. 8, p. 94-96.
Sur la harringtonite. *Ibid.*, t. 8, p. 96-97.
Sur la bowlingite et sur une chlorite des porphyrites labradoriques d'Écosse. *Ibid.*, t. 8, p. 97-99.

- ur les inclusions (rutile) de la phlogopite de Templeton (Canada). *Ibid.*, t. 8, p. 99-102.
- ur le diagnostic des zéolithes en l'absence des formes cristallines déterminables. *Ibid.*, t. 8, p. 321-367.
- ote sur la kirwanite et la hullite (Irlande). *Ibid.*, t. 8 p. 428-433.
- ropriétés optiques de la botryolite (Norvège). *Ibid.*, t. 8, p. 433-435.
- lentité de la dréelite et de la barytine (Rhône). *Ibid.*, t. 8 p. 435-437.
- ote sur le saphir de la Mercredière (Loire-Infér.). *Ibid.*, t. 8, p. 438.
- ur la formation actuelle de cristaux de gypse, de buratite et de calcite aux dépens des schistes argileux de Chessy. *Ann. Ac. Mâcon* (2), V, p. 349-350.
- ur une nouvelle localité de greenockite (S.-et-L.). *Ibid.*, (2), V, p. 351-353.
- ur les propriétés optiques de quelques minéraux fibreux et sur quelques espèces critiquées (arséniosidérîte, wavellite, variscite, davreuxite, anthophyllite, hydrotéphroïte). *C. R. Ac. Sc.*, t. 102, p. 273-274.
- ur les roches basaltiques du comté d'Antrim (Irlande). *Ibid.*, t. 102, p. 453-455.
- ur les propriétés optiques de quelques minéraux (grünérîte, warwickite, withamite, thulite, xantholite, scoulérîte et chalilite). *Ibid.*, t. 102, p. 643-646.
- ur les anthophyllites (normales et alumineuses). *Ibid.*, t. 102, p. 1329-1332.
- xamen pétrographique d'une diabase carbonifère des environs de Dumbarton (Écosse). *Ibid.*, t. 103, p. 824-826.
- escription d'une variété de carphosidérîte. Propriétés optiques de ce minéral (de Saint-Léger près de Mâcon). *Ibid.*, t. 103, p. 1037-1040.
- ropriétés optiques de l'arséniosidérîte (dans les mines de manganèse de Romanèche, S.-et-L.) *Bull. Soc. fr. Minéral.*, t. 9, p. 3-4.
- ropriétés optiques de quelques minéraux (wavellite, variscite, plannérîte, davreuxite). *Ibid.*, t. 9, p. 4-6.
- xamen optique de l'hydrotéphroïte et de l'anthophyllite hydratée. *Ibid.*, t. 9, p. 6-8.
- ropriétés optiques de la grünerite de Collobrières (Var). *Ibid.*, t. 9, p. 40-41.
- ropriétés optiques du chloritoïde, son identité avec la sismondine, masonite, otrérite, vénaquite et phyllite. *Ibid.*, t. 9, p. 42-46.
- tude minéralogique du gabbro à anorthite (en réalité plagioclase), de Saint-Clément (Puy-de-Dôme). *Ibid.*, t. 9, p. 46-51.
- ur un minéral probablement nouveau dans le guano du Pérou (oxalate de sodium et d'ammonium). *Ibid.*, t. 9, p. 51.
- ropriétés optiques de la warwickite (borolitanate). *Ibid.*, t. 9, p. 74-75.
- ropriétés optiques de la withamite. Pléochroïsme de la thulite. *Ibid.*, t. 9, p. 75-78.
- ontribution à la connaissance des propriétés optiques de quelques

- minéraux (xantholite, scoulérite, chalilite). *Ibid.*, t. 9, p. 78.
- Note sur les minéraux du groupe de la humite des calcaires morphiques de diverses localités (en commun avec Aug. MICHEL-LÉVY). *Ibid.*, t. 9, p. 81-84.
- Sur l'albite des pegmatites de Norvège. *Ibid.*, t. 9, p. 131-134.
- Bidrag af Thaumaside (en suédois). *Geol. Fören. i Stockholm Förh.* t. XI, p. 35.
1887. Examen critique de quelques minéraux (ptérolite, villarsite, gräsite, gamsigradite). *C. R. Ac. Sc.*, t. 104, p. 97-99.
- Description d'une thomsonite lamellaire de Bishopton (Renfrewshire, Écosse). *Ibid.*, t. 104, p. 234-235.
- Sur une épidote blanche du canal de Beagle (Terre de Feu). *Ibid.* t. 104, p. 235-236.
- Sur les variations de composition des porphyrites carbonifères Renfrewshire (Écosse). *Ibid.*, t. 104, p. 717-719.
- Étude pétrographique d'un gabbro à olivine de la Loire-Inférieure. *Ibid.*, t. 104, p. 870-872.
- Note sur une roche à wernérite granulitique des environs de Saint-Nazaire. *Ibid.*, t. 104, p. 1011-1012.
- Sur le granite à amphibole de Vaugneray (Rhône) (vaugnérite, en commun avec Aug. MICHEL-LÉVY). *Bull. Soc. fr. Minéral.*, t. 10, p. 27-31.
- Etudes critiques de minéralogie. *Ibid.*, t. 10, p. 142-152.
- Note sur la composition pétrographique des roches de Blekka et Dalane (Norvège). *Ibid.*, t. 10, p. 152-157.
- Note sur un mode de reproduction du corindon. *Ibid.*, t. 10, p. 158.
- Propriétés optiques de l'alunite (Mont-Dore, Hongrie, etc.). *Ibid.* t. 10, p. 169-170.
- Sur la pyroxénite à wernérite du Point-du-Jour, près Saint-Nazaire (Loire-Inférieure) (en commun avec M. BARET). *Ibid.*, t. 10 p. 291.
1888. Sur la bobierite (presqu'île de Mejillones, Chili). *C. R. Ac. Sc.*, t. 106, p. 631-633.
- Réfringence et biréfringence de quelques minéraux des roches communes (en commun avec Aug. MICHEL-LÉVY). *Ibid.*, t. 106, p. 777-779.
- Sur la syénite écolithique de Pouzac (Hautes-Pyrénées). *Ibid.*, t. 106, p. 1031-1034.
- Sur un nouveau gisement de dumortière (en commun avec Aug. MICHEL-LÉVY). *Ibid.*, t. 106, p. 1546-1548.
- Note sur un gisement français d'allanite (Pont-Paul, près Morlaix) (en commun avec Aug. MICHEL-LÉVY). *Bull. Soc. fr. Minéral.* t. 11, p. 65-68.
- Sur un nouveau gisement de gadolinite (Irlande). *Ibid.*, t. 11, p. 69.
- Matériaux pour la minéralogie de la France. *Ibid.*, t. 11, p. 70-71.
- Matériaux pour la minéralogie de la France. *Ibid.*, t. 11, p. 148-149.
- Sur une association de sillimanite et d'andalousite (Ceylan et environs de Morlaix). *Ibid.*, t. 11, p. 150-155.

- es minéraux des roches (en coll. avec A. MICHEL-LÉVY), Paris, Baudry, 1 vol., viii-334 p., 1 pl., 218 fig.
- tude pétrographique des gneiss de Ceylan et du district de Salem. (C. R. Ac. Sc., t. 108, p. 373-376.
- tude des phénomènes de contact de la granulite et du gneiss pyroxénique de la Loire-Inférieure. *Ibid.*, t. 108, p. 539-541.
- ar un sulfate de baryte naturel monoclinique et dimorphe de la barytine (michel-lévyte). *Ibid.*, t. 108, p. 1126-1128.
- ar une roche à amphibole sodique (riebeckite), astrophyllite, pyrochlore et zircon du Colorado. *Ibid.*, t. 109, p. 39-41.
- ar l'existence de nombreuses zéolithes dans les roches gneissiques de la Haute-Ariège. *Ibid.*, t. 109, p. 719-720.
- ar l'andalousite et la sillimanite de la vallée de Barousse (Hautes-Pyrénées). *Bull. Soc. fr. Minéral.*, t. 12, p. 59-60.
- ontributions à l'étude des gneiss à pyroxène et des roches à wernérinite (Thèse doct. ès sc.). *Ibid.*, t. 12, p. 83-364, 2 pl., 62 fig. dans le texte.
- ar un nouveau gisement français de bertrandite (Villeder, Morbihan). *Ibid.*, t. 12, p. 514.
- te sur les cristaux artificiels de gypse, maclés suivant a $\frac{1}{2}$. *Ibid.*, t. 12, p. 515-517.
- matériaux pour la minéralogie de la France. *Ibid.*, t. 12, p. 517-527.
- er quelques minéraux de la Loire-Inférieure (en commun avec M. BARET): bertrandite (gisement nouveau), apatite de Barbin, zéryl, ilménite, chlorite (ripidolite, helminthe), magnétite à cliage octaédrique, sphène, heulandite, prehnite, grenat grossulaire, feldspath. *Ibid.*, t. 12, p. 527-536.
- bleaux des minéraux de roches (en coll. avec A. MICHEL-LÉVY), Paris, Baudry, 1 vol., 40 p.
- er les cipolins à minéraux et les roches à wernérinite de l'Ariège. (C. R. Ac. Sc., t. 110, p. 54-55.
- er l'existence de roches à leucite dans l'Asie Mineure et sur quelques roches à hypersthène du Caucase. *Ibid.*, t. 110, p. 302-304.
- er les zéolithes des gneiss du Cambo (Basses-Pyrénées). *Ibid.*, t. 110, p. 967-969.
- er les phénomènes de contact de la syénite éololithique de Pouzac (Hautes-Pyrénées) et sur la transformation en dipyre du feldspath de la roche ophitique du même gisement. *Ibid.*, t. 110, p. 1011-1013.
- er la syénite éololithique de Montréal (Canada) et sur les modifications de contact endomorphes et exomorphes de cette roche. *Ibid.*, t. 110, p. 1152-1154.
- er les andésites et labradorites à hypersthène de la Guadeloupe. *Ibid.*, t. 110, p. 1347-1350.
- actères cristallographiques et optiques du pyroxène obtenu (par I. DAUBRÉE) dans l'eau surchauffée. *Ibid.*, t. 110, p. 1375.
- er la composition minéralogique des roches volcaniques de la Martinique et de l'île de Saba. *Ibid.*, t. 111, p. 71-73.

- Sur une roche éruptive de l'Ariège et sur la transformation des feldspaths en wernérite. *Ibid.*, t. 111, p. 803-806.
- Indices de réfraction principaux de l'anorthite (de Saint-Clément-Puy-de-Dôme) (en commun avec Aug. MICHEL-LÉVY). *Ibid.*, t. 111, p. 846-847.
- Sur les enclaves du trachyte de Menet (Cantal), sur leurs modifications et leur origine. *Ibid.*, t. 111, p. 1003-1006.
- Sur l'existence d'une roche à diaspore dans la Haute-Loire. *Bull. Serv. Minéral.*, t. 13, p. 7-8.
- Sur la forme cristalline de la carphosidérite (jarosite) : nouveau gisement de ce minéral (à Saint-Léger, près de Mâcon). *Ibid.*, t. 13, p. 8-10.
- Sur les propriétés optiques de la crocidolite et la diffusion de la lumière. *Ibid.*, t. 13, p. 10-15.
- Sur les propriétés optiques du titanolivine (Pfunders, Tyrol). *Ibid.*, t. 13, p. 15-21.
- Sur l'origine du zircon et du corindon de la Haute-Loire et sur les enclaves de gneiss et de granulite des roches volcaniques du Plateau Central. *Ibid.*, t. 13, p. 100-106.
- Description des syénites néphéliniques de Pouzac (Hautes-Pyrénées) et de Montréal (Canada) et de leurs phénomènes de contact. *S. G. F.* (3), XVIII, p. 511-558, 4 pl., 8 fig.
- Sur les enclaves des trachytes du Mont-Dore, et en particulier, leurs enclaves de roches volcaniques. *Ibid.*, (3), XVIII, p. 871, 2 pl.
- Sur les enclaves de phonolite du Mont-Dore. *Ibid.*, (3), XVIII, p. 873.
- Note sur les enclaves des basaltes du Mont-Dore et de quelques autres gisements du Puy-de-Dôme et sur un phénomène de contact de basalte et de granite. *Ibid.*, (3), XVIII, p. 874-880.
- Notes sur les andésites à hypersthène du Cantal. *Ibid.*, (3), XVIII, p. 881-886.
- Contributions à l'étude des roches métamorphiques et éruptives de la Haute-Ariège (feuille de Foix). *Bull. Serv. Carte géol. Fr.*, t. 13, p. 1-24.
- Sur les enclaves acides des roches volcaniques d'Auvergne. *Ibid.*, t. 2, p. 25-26.
1891. Conclusions auxquelles conduit l'étude des enclaves des trachytes du Mont-Dore. *C. R. Ac. Sc.*, t. 112, p. 253-256.
- Sur les enclaves de syénites néphéliniques trouvées au milieu des phonolites du Höhgau et de quelques autres gisements, conclusions à en tirer. *Ibid.*, t. 112, p. 1323-1325.
- Sur les granites prétendus post-secondaires de l'Ariège (feuille de Foix). *Ibid.*, t. 112, p. 1468-1470.
- Sur l'existence de la leucite en veinules dans un basalte du Mont-Dore. *Ibid.*, t. 113, p. 751-753.
- Sur la formation de cordiérite dans les roches sédimentaires fondue par les incendies des houillères de Commentry (Allier). *Ibid.*, t. 113, p. 1060-1062.

- Sur la fayalite des enclaves volcaniques des trachytes du Capucin (Mont-Dore). *Bull. Soc. fr. Minéral.*, t. 14, p. 10-14.
- Sur l'existence de la lāvénite dans les phonolites néphéliniques de la Haute-Loire. *Ibid.*, t. 14, p. 15-16.
- Sur la transformation des feldspaths en dipyre (Port de Saleix, Ariège et Pouzac, Hautes-Pyrénées). *Ibid.*, t. 14, p. 16-30.
- Sur l'existence de la christobalite associée au quartz et à la tridymite, comme minéral de nouvelle formation dans les enclaves quartzieuses du basalte de Mayen (Prusse rhénane). *Ibid.*, t. 14, p. 185-187.
- Note préliminaire sur un minéral nouveau de Montebbras (Creuse), « la morinite ». *Ibid.*, t. 14, p. 187-189.
- Sur un nouveau gisement de bertrandite dans la Loire-Inférieure. *Ibid.*, t. 14, p. 189-190.
- Sur l'anatase et la brookite de quelques roches françaises. *Ibid.*, t. 14, p. 191-194.
- Sur les déformations subies par les cristaux de quartz des filons de Pitourelles-en-Lordal (Ariège) et sur les minéraux formés par l'action de ces filons sur les calcaires paléozoïques. *Ibid.*, t. 14, p. 306-313.
- Sur les minéraux des sanidinites du Plateau Central de la France (enclaves dans les trachytes de Menet, Cantal, et de Monac, Haute-Loire). *Ibid.*, t. 14, p. 314-317.
- Matériaux pour la minéralogie de la France. *Ibid.*, t. 14, p. 318-326.
- Sur les roches à leucite de Trébizonde (Asie Mineure). *B. S. G. F.*, (3), XIX p. 732-740.
- Notes sur quelques roches d'Arménie (andésites, basaltes, etc.). *Ibid.*, (3), XIX, p. 741-748.
- Étude pétrographique des éclogites de la Loire-Inférieure. *Bull. Soc. Sc. nat. Ouest France*, t. I, p. 81-114, 2 pl.
- Description des gneiss à pyroxène de Bretagne et des cipolins qui leur sont associés. *Ibid.*, t. 1, p. 173-220.
- Contributions to the study of the pyroxenic varieties of Gneiss and of the Scapolite-bearing Rocks. Ceylon and Salem. *Records Geol. Surv. India*, t. 24, p. 155-200, 1 pl.
- Sur l'existence de zéolithes dans les calcaires jurassiques de l'Ariège et sur la dissémination de ces minéraux dans les Pyrénées. *C. R. Ac. Sc.*, t. 114, p. 377-378.
- Sur les relations existant entre la forme et la nature des gisements de l'andalousite de l'Ariège. *Ibid.*, t. 114, p. 955-957.
- Sur l'application des propriétés optiques des minéraux à l'étude des enclaves des roches volcaniques. *Ibid.*, t. 114, p. 1250-1253.
- Sur la diopside du Congo français. *Ibid.*, t. 114, p. 1384-1386.
- Sur l'axinite des Pyrénées, ses formes et les conditions de son gisement. *Ibid.*, t. 115, p. 739-741.
- Sur les modifications minéralogiques effectuées par la lherzolite sur les calcaires du Jurassique inférieur de l'Ariège. Conclusions à en tirer au point de vue de l'histoire de cette roche éruptive. *Ibid.*, t. 115, p. 974-976.

- Sur la magnésioferrite du roc de Cuzeau (Mont-Dore). *Bull. Soc. fr. Minéral.*, t. 15, p. 11-13.
1893. Sur les roches basiques à néphéline (ankaratrite et ses pegmatitoïdes) du Plateau Central de la France. *C. R. Ac. Sc.*, t. 116, p. 1075-1078.
- Sur la phénacite de Saint-Christophe-en-Oisans (en commun avec M. DES CLOIZEAUX). *Ibid.*, t. 116, p. 1231-1232.
- Sur deux gisements de perowskite (Montréal, Canada et Kaiserstuhl). *Bull. Soc. fr. Minéral.*, t. 16, p. 227-228.
- Les enclaves des roches volcaniques. Mâcon, Protat, 1 vol., 770 p., 8 pl., 35 fig.
1894. Sur quelques minéraux de la Nouvelle-Calédonie. *C. R. Ac. Sc.*, t. 118, p. 551-554.
- Étude sur le métamorphisme de contact des roches volcaniques. *Mémoires Savants étrangers*, t. 31, n° 7, p. 1-88, 8 pl. en couleurs.
- Phénacite de Saint-Christophe-en-Oisans (en commun avec M. DES CLOIZEAUX). *Bull. Soc. fr. Minéral.*, t. 17, p. 33-36.
- Matériaux pour la Minéralogie de la France. *Ibid.*, t. 17, p. 36-48.
- Note préliminaire sur les minéraux de la vallée de Diahot (Nouvelle-Calédonie). *Ibid.*, t. 17, p. 49-57.
- Épidote de Madagascar. *Ibid.*, t. 17, p. 119-120.
- Note additionnelle sur la pyromorphite de la Nouvelle-Calédonie. *Ibid.*, t. 17, p. 120-123.
- Étude minéralogique de la lherzolite des Pyrénées et de ses phénomènes de contact. *Nouv. Arch. Mus. Hist. nat.*, t. 6, p. 209-300 et 6 pl.
1895. Sur les phénomènes de contact de la lherzolite des Pyrénées. *C. R. Ac. Sc.*, t. 120, p. 339-342.
- Considérations sur le métamorphisme de contact auxquelles conduit l'étude des phénomènes de contact de la lherzolite des Pyrénées. *Ibid.*, t. 120, p. 388-391.
- Sur les roches basiques constituant des filons minces dans la lherzolite des Pyrénées. *Ibid.*, t. 120, p. 752-755.
- Sur la structure et les propriétés optiques de divers silicates compactes ou terreux (chromocre, glauconie, céladonite, bavalite, aérinite, magnésite, halloysite, montmorillonite, nontronite). *Ibid.*, t. 121, p. 737-739.
- Sur une roche à leucite carbonifère du Mâconnais (en commun avec Aug. MICHEL-LÉVY). *Bull. Soc. fr. Minéral.*, t. 18, p. 24-27.
- Sur les structures et les propriétés optiques de divers silicates compactes ou terreux (chromocre, glauconie, céladonite, chamosite, aérinite, magnésite, montmorillonite, halloysite, nontronite, pinguite et graménite). *Ibid.*, t. 18, p. 426-430.
- Les phénomènes de contact de la lherzolite et de quelques ophites des Pyrénées. *Bull. Serv. Carte géol. Fr.*, t. 6, n° 42, p. 307-446, 3 pl., 21 fig.
- Leucotéphrite à pyroxène de la base du Culm du Mâconnais (en commun avec Aug. MICHEL-LÉVY). *Ibid.*, t. 7, n° 45, p. 1-14, 3 pl.
- Sur quelques minéraux des mines du Boléo (Basse Californie).

- (boléïte, percerylite, cumengéïte, pseudoboléïte). *Bull. Mus. Hist. nat.*, t. I, n° 2, p. 39-42.
- Minéralogie de la France et de ses colonies, t. I. Paris, Baudry-Béranger, 1893-1895, xx + 724 p., fig.
- Sur la structure cristalline et les propriétés optiques de la magnésite (écume de mer). *Bull. Mus. Hist. nat.*, t. II, p. 73-76.
- Sur les tufs volcaniques de Ségalas (Ariège). Conclusions à tirer de leur étude au sujet de l'origine des ophites. *C. R. Ac. Sc.* t. 122, p. 146-149.
- Sur les minéraux rares du glacier de la Meije (Hautes-Alpes) (anatase, brookite, turnerite). *Ibid.*, t. 122, p. 1429-1431.
- Sur les cristaux de topaze du royaume de Péra (en commun avec M. Sol). *Ibid.*, t. 123, p. 135-136.
- Sur la découverte d'un gisement d'empreintes végétales dans les cendres volcaniques anciennes de l'île de Phira (Santorin). *Ibid.*, t. 123, p. 656-659. *Errata*, p. 717.
- Sur la formation actuelle des zéolites sous l'influence du ruissellement superficiel. *Ibid.*, t. 123, p. 761-764.
- Les minéraux néogènes des scories plombeuses athéniennes du Laurium. *Ibid.*, t. 123, p. 955-958.
- Les transformations endomorphiques du magma granitique de la Haute-Ariège au contact des calcaires. *Ibid.*, t. 123, p. 1021-1023.
- Sur la formation secondaire d'amphiboles orthorhombiques dans deux remarquables gisements du Plateau Central. *Bull. Soc. Fr. Minéral.*, t. 19, p. 67-71.
- Sur la structure des cristaux de mésotype et d'edingtonite. *Ibid.*, t. 19, p. 422-426.
- Sur la gonnardite. *Ibid.*, t. 19, p. 426-429.
- Sur les propriétés optiques de quelques cristaux d'harmotome. *Ibid.*, t. 19, p. 429-431.
- Sur une pseudomorphose régulière de pyrrhotine en marcasite. *Bull. Mus. Hist. nat.*, t. II, p. 357-358.
- Sur le minéral cristallisé formé dans un cercueil de plomb, aux dépens d'un cadavre (brushite) (Paris). *C. R. Ac. Sc.*, t. 124, p. 419-422.
- Étude minéralogique de l'action de fumerolles volcaniques sulfurées sur la serpentine (Susaki, Corinthe). *Ibid.*, t. 124, p. 513-516.
- Sur la constitution minéralogique de l'île de Polycandros (Archipel). *Ibid.*, t. 124, p. 628-630.
- Sur la marcasite de Pontpéan (I.-et-V.) et sur des groupements réguliers de marcasite, de pyrite et de galène, constituant des pseudomorphoses de pyrrholine. *Ibid.*, t. 125, p. 265-267.
- Sur les minéraux cristallisés, formés sous l'influence d'agents volatils, aux dépens des andésites de l'île de Théra (Santorin). *Ibid.*, t. 125, p. 1189-1191.
- Sur la brushite et la métabrushite. *Bull. Soc. fr. Minéral.*, t. 20 p. 112-118.
- Matériaux pour la minéralogie de la France. *Ibid.*, t. 20, p. 118-119.

- Sur l'existence de l'ouwarowite dans l'île de Skyros. *Ibid.*, t. 20, p. 120-121.
- Sur la marcasite de Pontpéan (Ille-et-Vilaine) et sur les pseudomorphes qu'elle constitue. *Ibid.*, t. 20, p. 223-232.
- Sur l'amalgame argentifère de la mine des Challanches (Isère). *Ibid.*, t. 20, p. 233.
- Sur les produits de décomposition des pyrites du bassin de Paris de Naxos et de Susaki, près Corinthe. *Ibid.*, t. 20, p. 288-308.
- Sur la polyélite de Thomson (New Jersey). *Ibid.*, t. 20, p. 308-309.
- Sur la lawsonite de Corse et de la Nouvelle-Calédonie. *Ibid.*, t. 20, p. 309-312.
- Phénomènes de contact de la lherzolite et des diabases ophitique (ophites) (Pyrénées). *Bull. Serv. Carte géol. Fr.*, t. 8, n° 53, C. h. Coll. campagne 1897, p. 131-133.
- Tufs volcaniques en liaison avec des ophites (Ariège). *Ibid.*, t. 8, p. 133-134.
- Phénomènes de contact du granite (Pyrénées). *Ibid.*, t. 8, p. 134-136.
- Granite prétendu post-crétacé des Pyrénées-Orientales. *Ibid.*, t. 8, p. 136-138.
- Le gypse de Paris et les minéraux qui l'accompagnent. *Nouv. Arch. Mus. Hist. nat.*, t. 9, p. 201-296, 9 pl.
- Sur la minéralogie des cadavres. *Bull. Mus. Hist. nat.*, t. 3, p. 143-144.
- Sur quelques minéraux de Boléo (Basse-Californie). *Soc. Cient. « Antonio Alzate »*, t. 11, 1897-1898, *Rev. Cient. Bibl.*, nos 9-11, p. 29-31.
- Minéralogie de la France et de ses colonies, t. II. Paris, Baudry-Béranger, 1896-1897, 804 p., fig.
1898. Sur le sulfate anhydre de calcium produit par la déshydratation complète du gypse. *C. R. Ac. Sc.*, t. 126, p. 360-362.
- Sur la formation d'anhydrite par calcination du gypse à haute température. *Ibid.*, t. 126, p. 553-554.
- Sur la ktypéite, nouvelle forme de carbonate de calcium, différente de la calcite et de l'aragonite (Carlsbad et Hammam Meskoutine Constantine). *Ibid.*, t. 126, p. 602-605.
- Sur les minéraux des fumerolles basaltiques de Royat (Puy-de-Dôme) (pseudobrookite, oligiste, augite) en commun avec Paul GAUTHIER. *Ibid.*, t. 126, p. 1529-1532. *Errata*, p. 1836.
- Les filons granulitiques et pegmatiques des contacts granitiques de l'Ariège. Leur importance théorique. *Ibid.*, t. 127, p. 570-572.
- Les roches à axinite (limurites) des contacts granitiques des Hautes-Pyrénées. *Ibid.*, t. 127, p. 673-675.
- Les modifications endomorphes du gabbro du Pallet (Loire-Inférieure). *Ibid.*, t. 127, p. 1038-1040.
- Sur l'existence, aux environs de Corinthe, de lherzolites identiques à celles des Pyrénées. *Ibid.*, t. 127, p. 1248-1250.
- Note sur les minéraux et les roches du gisement diamantifère de Monastery (État libre d'Orange) et sur ceux du Griqualand. *Bull. Soc. fr. Minéral.*, t. 21, p. 24-29.

- sur le sel gemme métamorphique de Sala (H^{te}-Garonne). *Ibid.*, t. 21, p. 29-30.
- sur les formes du gypse des environs de Paris. *Ibid.*, t. 21, p. 39-43.
- sur l'existence de la wollastonite comme élément d'une aplite (dis-sogénite) (Quérigut, Pyrénées). *Ibid.*, t. 21, p. 272-277.
- sur le diagnostic de la prehnite dans les roches (Adé, Pyrénées). *Ibid.*, t. 21, p. 277-279.
- sur le granite des Pyrénées et ses phénomènes de contact (Premier Mémoire). Les contacts de la Haute-Ariège. *Bull. Serv. Carte géol. Fr.*, t. 10, n° 64, p. 241-306, 3 pl.
- sur quelques minéraux de Boléo (Basse Californie) (boléite, pyromorphite, cuprite). *Bull. Mus. Hist. nat.*, t. 4, p. 43-44.
- sur les phénomènes métamorphiques du granite de Quérigut (Ariège). *Ibid.*, t. 4, p. 210-212.
- Matériaux pour la Minéralogie de Madagascar. *Ibid.*, t. 4, p. 291-293.
- sur les phénomènes de recristallisation présentés par les blocs de diabase du fort vitrifié du camp de Péran, près Saint-Brieuc. *Ibid.*, t. 4, p. 396-400.
- sur les roches volcaniques à leucite de Trébizonde. *C. R. Ac. Sc.*, t. 128, p. 128-130.
- sur les rhyolites à ægyrine et riebeckite du pays de Somalis. *Ibid.*, t. 128, p. 1353-1356.
- sur un gîte de magnétite en relation avec le granite de Quérigut (Ariège). *Ibid.*, t. 128, p. 1467-1469.
- sur le gabbro du Pallet et ses modifications. *Bull. Serv. Carte géol. Fr.*, t. 10, n° 67, p. 341-396 et 4 pl.
- sur la téphroïte des Hautes-Pyrénées. *Bull. Mus. Hist. nat.*, t. 5, p. 258-260.
- Matériaux pour la Minéralogie de Madagascar. *Ibid.*, t. 5, p. 318-320.
- note sur les roches cristallines et éruptives de la Chine méridionale (en commun avec Aug. MICHEL-LÉVY et LECLÈRE). *C. R. Ac. Sc.*, t. 130, p. 211-213.
- sur les transformations endomorphiques de l'andésite de Santorin sous l'influence d'enclaves enallogènes calcaires. *Ibid.*, t. 130, p. 272-274.
- sur un nouveau groupe d'enclaves homogènes des roches volcaniques, les microtinites des andésites et des téphrites (Santorin et Mont-Dore). *Ibid.*, t. 130, p. 348-351.
- sur une forme de silice anhydre optiquement négative (pseudo-calcédonite). *Ibid.*, t. 130, p. 430-432.
- sur les granites et syénites quartzifères à ægyrine, arfvedsonite et ænigmatite de Madagascar. *Ibid.*, t. 130, p. 1208-1211.
- sur la composition minéralogique des teschenites de Madagascar. *Ibid.*, t. 130, p. 1271-1274.
- sur une roche de fayalite (Collobrières). *Ibid.*, t. 130, p. 1778-1780.
- sur la prehnite considérée comme élément constitutif de calcaires métamorphiques (vallée du Bastan ou de Barèges). *Ibid.*, t. 131, p. 69-70.

- Les roches à néphéline du Puy de Saint-Sandoux (Puy-de-Dôme). *Ibid.*, t. 131, p. 283-285.
- Sur l'origine des brèches calcaires secondaires de l'Ariège ; conséquences à en tirer au point de vue de l'âge de la lherzolite. *Ibid.*, t. 131, p. 396-398.
- Sur l'origine de la gédrite des Pyrénées et sur un nouveau gisement de ce minéral. *Bull. Soc. fr. Minéral.*, t. 23, p. 43-47.
- Sur les gneiss aurifères de Madagascar. *Ibid.*, t. 23, p. 243-248.
- Sur les minéraux des gîtes métallifères d'Ambatofangehana (Madagascar). *Ibid.*, t. 23, p. 248-251.
- Sur les minéraux des gisements manganésifères des Hautes-Pyrénées (alabandite, hubnérite, friedelite, téphroïte, torrensite). *Ibid.*, t. 23, p. 251-255.
- Sur la willémite d'Algérie et du Congo. *Ibid.*, t. 23, p. 255-257.
- Le granite des Pyrénées et ses phénomènes de contact (Deuxième Mémoire). Les contacts de la Haute-Ariège, de l'Aude, des Pyrénées-Orientales et des Hautes-Pyrénées. *Bull. Serv. Carte géol. Fr.*, t. 11, n° 71, p. 50-1-50-LXVIII, 3 pl.
- Sur une nouvelle espèce minérale, la pseudo-calcédonite provenant du sol de Paris. *Bull. Mus. Hist. nat.*, t. 6, p. 87-88.
- Sur deux pseudomorphoses minérales (ilménite en anatase, sphérotite en anatase). *Ibid.*, t. 6, p. 205-208.
- Les roches basiques accompagnant les lherzolites et les ophites des Pyrénées. *C. R. VIII^e Congrès géol. intern.* 1900, Paris (1901), t. 1, p. 808-838, 6 pl.
- Pyrénées (Roches cristallines). *Livret-guide VIII^e Congrès géol. intern.*, n° III, Paris, p. 1-34, 19 fig.
- Sur quelques minéraux des mines de Boléo. *Soc. Cient. « Antonio Alzate »*, t. 15, 1900-1901, *Rev. Cient. Bibl.* nos 1-2, p. 33-35.
1901. Sur l'origine de l'or de Madagascar. *CR. Ac. Sc.*, t. 132, p. 180-182.
- Sur un nouveau groupe de roches très basiques (lherzolites, amphibolites) (Étang de Lherz, vallée de Suc, Prades). *Ibid.*, t. 132, p. 358-360. *Errata*, p. 448.
- Sur la province pétrographique du nord-ouest de Madagascar. *Ibid.*, t. 132, p. 439-441.
- Conclusions à tirer de l'étude de la série des enclaves homogènes des andésites à hauyne du Mont-Dore. *Ibid.*, t. 133, p. 1033-1035.
- Sur la forstérite et les pseudomorphoses de diopside en forstérite-spinelle des contacts des roches lherzolitiques de l'Ariège (Bousses du Fajou et près du col d'Uret). *Bull. Soc. fr. Minéral.*, t. 24, p. 14-22.
- Les calcaires à prehnite des contacts des Hautes-Pyrénées. *Ibid.*, t. 24, p. 22-27.
- Sur un arséniate d'alumine de la mine de la Garonne (Iskeardite). *Ibid.*, t. 24, p. 27-30.
- Note sur les roches à lépidolite et topaze du Limousin. *Ibid.*, t. 24, p. 30-34.
- Sur la kaolinite cristallisée de Nossi-Bé, Madagascar. *Ibid.*, t. 24, p. 34-36.

sur les gisements stannifères de Hlin-Boun (Laos). *Ibid.*, t. 24, p. 422-425.

sur quelques cas de production d'anatase par voie secondaire. *Ibid.*, t. 24, p. 425-428.

sur deux nouveaux groupes d'enclaves des roches éruptives. *Ibid.*, t. 24, p. 488-504.

des calcaires à prehnite des contacts granitiques des Hautes-Pyrénées. *Bull. Mus. Hist. nat.*, t. 7, p. 94-96.

sur les ariégites, nouveaux types de roches éruptives. *Ibid.*, t. 7, p. 238-240.

sur l'application de la méthode expérimentale à l'étude des roches éruptives. *C. R. Soc. S., Sciences* (à Nancy), p. 159-162.

Minéralogie de la France et de ses colonies, t. III. Paris, Baudry-Béranger, vi + 400 p.

des roches volcaniques de la Martinique. *CR. Ac. Sc.*, t. 134, p. 1246-1248.

sur les cendres des éruptions de la Montagne Pelée de 1851 et de 1902. *Ibid.*, t. 134, p. 1327-1329.

des roches volcaniques de la Martinique. *Ibid.*, t. 134, p. 1369-1371.

Extrait d'une lettre relative à la mission de la Martinique. *Ibid.*, t. 135, p. 147-150.

sur l'éruption de la Martinique (en commun avec MM. ROLLET DE L'ISLE et GIRAUD); rapport de la mission envoyée par l'Académie. *Ibid.*, t. 135, p. 377-391 et p. 419-431. *Errata*, p. 464.

sur les roches rejetées par l'éruption actuelle de la Montagne Pelée. *Ibid.*, t. 135, p. 451-454.

des enclaves des andésites de l'éruption actuelle de la Montagne Pelée. *Ibid.*, t. 135, p. 470-472.

nouvelles observations sur les éruptions volcaniques de la Martinique (Extrait d'une lettre à M. Michel-Lévy). *Ibid.*, t. 135, p. 672-674 et p. 1301-1307.

sur l'état actuel du volcan de la Montagne Pelée, à la Martinique (Extrait d'une lettre à M. Michel-Lévy). *Ibid.*, t. 135, p. 771-773.

état actuel du volcan de la Martinique. *Ibid.*, t. 135, p. 992-997.

quelques observations minéralogiques faites sur les produits de l'incendie de Saint-Pierre (Martinique). *Ibid.*, t. 135, p. 1068-1071.

note préliminaire sur une nouvelle espèce minérale (la grandidiérite). *Bull. Soc. fr. Minéral.*, t. 25, p. 85-86.

sur la klaprothine de Madagascar. *Ibid.*, t. 25, p. 115-116.

des roches alcalines caractérisant la province pétrographique d'Ampasindava (*in* : Matériaux pour la minéralogie de Madagascar, (Premier Mémoire). *Nouv. Arch. Mus. Hist. nat.*, 4^e s., t. 1, p. 1-214, 110 pl.

onzonites néphéliniques de Tahiti (*in* : Matériaux pour la minéralogie de Madagascar). *Ibid.*, 4^e s., t. 4, p. 133-134.

constitution minéralogique de Madagascar : ses roches, ses pierres et ses métaux précieux (résumé). *C. R. Congr. Soc. Sav.*, Paris, p. 53-54.

communiqué quotidien sur l'éruption de la Montagne Pelée (octobre

- 1902-février 1903) affiché dans toutes les communes de la Colonie. *Journal officiel Martinique*, Fort-de-France.
- Diverses notes sur l'éruption en cours de la Montagne Pelée. *Ibid.* 1902-1903.
1903. Sur quelques faits d'endomorphisme observés dans les ruines de Saint-Pierre (Martinique). *C. R. Ac. Sc.*, t. 136, p. 28-30.
- Les éruptions de nuages denses (nuées ardentes) de la Montagne Pelée. *Ibid.*, t. 136, p. 216-218.
- L'éruption de la Montagne Pelée en janvier 1903. *Ibid.*, t. 136, p. 442-443.
- Sur l'état actuel de la Soufrière de la Guadeloupe. *Ibid.*, t. 136, p. 656-659.
- Sur une éruption du volcan de Saint-Vincent (Antilles anglaises). *Ibid.*, t. 136, p. 803-807.
- Principaux résultats de la mission de la Martinique. *Ibid.*, t. 136, p. 871-876.
- La cordiérite dans les produits éruptifs de la Montagne Pelée et de la Soufrière de Saint-Vincent. *Ibid.*, t. 137, p. 143-147.
- Les enclaves basiques des volcans de la Martinique et de Saint-Vincent. *Ibid.*, t. 137, p. 211-213.
- Sur les granites à ægyrine et riebeckite de Madagascar et sur les phénomènes de contact. *Ibid.*, t. 137, p. 533-534.
- Sur une nouvelle espèce minérale (grandidiérite) (d'Andrahomana, Madagascar). *Ibid.*, t. 137, p. 582-584.
- A propos de la plumasite, roche à corindon. *Ibid.*, t. 26, p. 130.
- Sur le gisement de la calcédoine et des bois silicifiés de la Martinique. *Ibid.*, t. 26, p. 150-152.
- Observations au sujet de la cristallisation du zinc par recuit, faite dans les ruines incendiées de Saint-Pierre (Martinique). *Ibid.*, t. 26, p. 184-188.
- Sur une pseudomorphose d'un insecte en nouméite (Nouvelle-Calédonie). *Ibid.*, t. 26, p. 303.
- Les roches alcalines caractérisant la province pétrographique d'Ankapa (Madagascar). Deuxième Mémoire) in : *Matériaux pour la minéralogie de Madagascar. Nouv. Arch. Mus. Hist. nat.*, 4^e s., t. 3, p. 254, 8 pl.
- Sur le gisement de l'autunite de Saint-Symphorien de Marmagne (S.-et-L.). *C. R. séances Soc. Hist. nat. Autun*, t. 16, p. 134-140.
- Sur la néphéline (ankaratrite) du Drevain (S.-et-L.). *Bull. Hist. nat. Autun*, t. 16, p. 109-114, 2 pl.
- Les dernières éruptions de Saint-Vincent (Antilles), mars 1903. *Arch. Géogr.*, t. 12, p. 261-268, 3 pl.
- Sur quelques productions boueuses accompagnant les éruptions de la Montagne Pelée. *Rev. gén. Sc.*, p. 115-116, 2 pl.
- Le Volcan. *Dépêche coloniale*. Paris, p. 49-93.
1904. Sur la production de roches quartzifères au cours de l'éruption actuelle de la Montagne Pelée. *C. R. Ac. Sc.*, t. 138, p. 792-793.
- Errata*, p. 868.

- es roches à néphéline de Tahiti. *Ibid.*, t. 139, p. 953-956.
- ur la grandidiérite (Andrahomana, Madagascar). *Bull. Soc. fr. Minéral.*, t. 27, p. 259-265. *Rev. Madagascar*, Tananarive, p. 366-367.
- ote sur la minéralogie de Tahiti. *Bull. Soc. fr. Minéral.*, t. 27, p. 272-279.
- néralogie de la France et de ses colonies, t. III. Paris, Baudry-Béranger, p. 401-816.
- Montagne Pelée et ses éruptions. Paris, Masson, 1 vol., xxii + 662 p., 30 pl., 238 photos.
- ur les microgranites alcalins du territoire de Zinder. *C. R. Ac. Sc.*, t. 140, p. 22-26. *Errata*, p. 112.
- es roches éruptives basiques de la Guinée française. *Ibid.*, t. 140, p. 410-413.
- onclusions à tirer de l'étude des enclaves homœogènes pour la connaissance d'une province pétrographique (Santorin). *Ibid.*, t. 140, p. 971-975. *Errata*, p. 1203.
- es carbonates basiques de magnésie de l'éruption de Santorin en 1866 (giorgiosite, nouveau minéral). *Ibid.*, t. 140, p. 1308-1311.
- le tremblement de terre ressenti le 8 septembre 1905 à Stromboli et sur l'état actuel de ce volcan. *Ibid.*, t. 141, p. 575-579.
- es syénites néphéliniques de l'île de Los (Guinée française). *Ibid.*, t. 141, p. 984-988.
- un nouveau type pétrographique représentant la forme de profondeur de certaines leucotéphrites de la Somma (sommaïte). *Ibid.*, t. 141, p. 1188-1193. *Errata*, t. 142, p. 68.
- un gisement de redondite à la Martinique. *Bull. Soc. fr. Minéral.*, t. 28, p. 13-16.
- ervations faites à la Montagne Pelée sur les conditions présidant à la production de la tridymite dans les roches volcaniques. *Ibid.*, t. 28, p. 56-60.
- sulfate de sodium des fumerolles secondaires à haute température de la Montagne Pelée. *Ibid.*, t. 28, p. 60-68.
- un cas curieux de cristallisation du chlorure de sodium au cours de l'éruption de la Montagne Pelée. *Ibid.*, t. 28, p. 68-70.
- ériaux sur les météorites pierreuses de Pillistfer et de Hvittis. *Ibid.*, t. 28, p. 70-76.
- un nouveau minéral : la giorgiosite (hydromagnésite, Santorin). *Ibid.*, t. 28, p. 198-200.
- sultats minéralogiques et géologiques de récentes explorations dans l'Afrique Occidentale française et dans la Région du Tchad. *Rev. mar. coloniale*, p. 1-31 ; 129-139 ; 205-223.
- mode de formation d'un dôme volcanique et la cristallisation des roches éruptives quartzifères, d'après les observations au cours de l'éruption de la Montagne Pelée. *Rev. gén. Sc.*, t. 15, avril, t. 16, p. 301-315, 8 pl.
- les faciès de variations de certaines syénites néphéliniques des îles de Los. *C. R. Ac. Sc.*, t. 142, p. 681-686. *Errata*, p. 860.
- l'éruption du Vésuve et en particulier sur les phénomènes explosifs. *Ibid.*, t. 142, p. 941-944. *Errata*, p. 1238.

- Les conglomérats des explosions volcaniennes du Vésuve : les minéraux, leur comparaison avec les conglomérats trachytiques du Mont-Dore. *Ibid.*, t. 142, p. 1020-1022. *Errata*, p. 1238.
- Les avalanches sèches et les torrents boueux de l'éruption récente du Vésuve. *Ibid.*, t. 142, p. 1244-1249.
- Les cristaux de sylvite des blocs rejetés par la récente éruption du Vésuve. *Ibid.*, t. 142, p. 1249-1252.
- Les produits laviques de la récente éruption du Vésuve. *Ibid.*, t. 143, p. 13-18.
- Sur la transformation de roches volcaniques en phosphate d'alumine sous l'influence de produits d'origine physiologique (Ile de Saint-Thomé, golfe de Guinée). *Ibid.*, t. 143, p. 661-664.
- Sur quelques produits des fumerolles de la récente éruption du Vésuve et en particulier sur les minéraux arsénifères et plombifères. *Ibid.*, t. 143, p. 727-730.
- Sur quelques roches ijolitiques de Kilima-Ndjaru. *Bull. Soc. Minéral.*, t. 29, p. 90-97.
- Contributions à l'étude des brèches et des conglomérats volcaniques (Antilles, 1902-1903 ; Vésuve, 1906). *B. S. G. F.* (4), VI, p. 67-685, pl. XIX-XXII, fig. 1-11.
- La météorite de Saint-Christophe-la-Chartreuse, Rocheservière (Vendée). *Bull. Soc. Sc. nat. Ouest France.*, 2^e s., t. 6, p. 81-112, pl. 1-11.
- L'éruption du Vésuve en 1906. *Rev. gén. Sc.*, t. 17, p. 881-890, 923-936. Traduit dans *Smithsonian Report* 1906 (1907), Washington, p. 223-248, pl. I-XIV.
1907. Sur la constitution minéralogique du dôme de la Montagne Pelée. *C. R. Ac. Sc.*, t. 144, p. 169-173.
- Sur la constitution pétrographique du massif volcanique du Vésuve et de la Somma. *Ibid.*, t. 144, p. 1243-1251.
- Sur une espèce minérale nouvelle des fumerolles à haute température de la récente éruption du Vésuve (palmiérîte). *Ibid.*, t. 144, p. 1397-1401.
- Les phénomènes de contact du trachyte phonolitique du Grison (Cantal). *Ibid.*, t. 145, p. 493-498.
- Sur une nouvelle espèce minérale provenant des scories plombeuses athéniennes du Laurium (georgiadésite) (En commun avec M. A. DE SCHULTEN). *Ibid.*, t. 145, p. 783-785.
- Sur deux gisements nouveaux de métavoltite (de Milo et de Vourvour). *Bull. Soc. fr. Minéral.*, t. 30, p. 30-36.
- Note sur la minéralogie du pays Mahafaly, Madagascar. *Ibid.*, t. 30, p. 36-41.
- Sur l'identité vraisemblable de la lassallite et de la pilolite. *Ibid.*, t. 30. Cette note n'est connue qu'en tirage à part.
- Les minéraux des fumerolles de l'éruption du Vésuve en avril 1906. *Ibid.*, t. 30, p. 219-266.
- Étude minéralogique des produits silicatés de l'éruption du Vésuve (avril 1906) (Conséquences à en tirer à un point de vue général). *Nouv. Arch. Mus. Hist. nat.*, t. 9, p. 1-172, pl. I-X.
1908. Sur l'existence du fluorure de sodium cristallisé comme élément

- syénites néphéliniques des îles de Los (villiaumite). *C.R. Ac. Sc.*, t. 146, p. 213-216.
- sur une nouvelle espèce minérale, provenant du Congo français (planchéite). *Ibid.*, t. 146, p. 722-725.
- sur la récente éruption de l'Etna (Taormina, 15 mai 1908). *Ibid.*, t. 146, p. 1071-1076.
- nouvelles observations sur l'Etna. *Ibid.*, t. 146, p. 1134-1137.
- sur une nouvelle espèce minérale et sur les minéraux qu'elle accompagne dans les gisements tourmalinifères de Madagascar (bityite). *Ibid.*, t. 146, p. 1367-1371. *Errata*, t. 147, p. 92.
- sur la lave de la récente éruption de l'Etna. *Ibid.*, t. 147, p. 99-103.
- sur les minéraux des fumerolles de la récente éruption de l'Etna et sur l'existence de l'acide borique dans les fumerolles actuelles du Vésuve. *Ibid.*, t. 147, p. 161-165.
- sur les ponces du massif volcanique du Mont-Dore. *Ibid.*, t. 147, p. 778-782.
- sur le mode de formation du Puy de Dôme et les roches qui le constituent. *Ibid.*, t. 147, p. 826-831. *Errata*, p. 1449.
- sur les laves des dernières éruptions de Vulcano (îles Éoliennes). *Ibid.*, t. 147, p. 1451-1456.
- sur la Montagne Pelée après ses éruptions, avec observations sur les éruptions du Vésuve en 1879 et en 1906. Paris, Masson, 1 vol., in 4 + 136 p., 82 photos.
- sur le chlorure de sodium de l'oasis de Bilma. *Bull. Soc. fr. Minéral.*, t. 31, p. 40-44.
- sur quelques vanadates des environs de Saïda (Oran). *Ibid.*, t. 31, p. 44-46.
- sur les minéraux plombifères des scories athéniennes du Laurium (en coll. avec DE SCHULTEN). *Ibid.*, t. 31, p. 79-90.
- sur la composition chimique de la morinite (en coll. avec A. CARNOT). *Ibid.*, t. 31, p. 149-152.
- sur les minéraux des filons de pegmatite à tourmaline lithique de Madagascar. *Ibid.*, t. 31, p. 218-247.
- sur les minéraux accompagnant la diopside de Mindouli. *Ibid.*, t. 31, p. 247-259.
- sur un gisement tonkinois d'autunite. *Ibid.*, t. 31, p. 259.
- sur le complémentaire sur les minéraux des fumerolles du Vésuve. *Ibid.*, t. 31, p. 260-264.
- sur quelques minéraux radioactifs de Madagascar (cuxénite, fergusonite). *Ibid.*, t. 31, p. 312-314.
- sur la danburite de Madagascar. *Ibid.*, t. 31, p. 315-318.
- sur deux roches éruptives de Madagascar (syénite de Sabotsy ; octolite du pays Mahafaly). *Ibid.*, t. 31, p. 318-323.
- sur la tridymite du Vésuve et sur la genèse de ce minéral par fusion. *Ibid.*, t. 31, p. 323-338.
- sur les minéraux pour la minéralogie de la France. *Ibid.*, t. 31, p. 349-354.
- sur le résumé de quelques observations de A. Ricco sur le tremblement de terre de Sicile et de Calabre du 28 décembre 1908. *C. R. Ac. Sc.*, t. 148, p. 207-209.

- Sur l'existence de trachytes quartzifères à arfvedsonite (bostonit) dans le massif du Mont-Dore (en collab. avec Aug. MICHEL-LÉVY). *Ibid.*, t. 148, p. 1718-1724.
- Sur le travail de la pierre polie dans le Haut-Oubangui. *Ibid.*, t. 148, p. 1725-1727. — *Le Naturaliste*, 2^e s., t. 22, p. 183.
- Sur l'existence de roches grenues intrusives pliocènes dans le massif volcanique du Cantal. *C. R. Ac. Sc.*, t. 149, p. 541-546.
- Sur l'existence de la rhodizite dans les pegmatites de Madagascar. *Ibid.*, t. 149, p. 896-899.
- Matériaux pour la Minéralogie de la France. *Bull. Soc. fr. Minér.*, t. 32, p. 54-57.
- Sur l'existence des sables monazités à Madagascar. *Ibid.*, t. 32, p. 313-317.
- Sur quelques gisements de corindon à Madagascar. *Ibid.*, t. 32, p. 318-320.
- Sur la hambergite de Madagascar. *Ibid.*, t. 32, p. 320-324.
- Note sur la rhönite du Puy de Saint-Sandoux. *Ibid.*, t. 32, p. 325-326.
- Sur un nouveau cas de formation de chalcosite aux dépens de monnaies romaines immergées dans une source thermale. *Ibid.*, t. 32, p. 333-335.
- Les gisements français et coloniaux de résines fossiles. *C. R. somm. S. G. F.*, (4), IX, p. 85-86 et 292-293.
- Sur la syénite néphélinique de Fitou (Aude). *B. S. G. F.* (4), t. 33, p. 33.
- Sur le travail de la pierre polie dans le Haut Oubangui (A. E. F.). *La Géographie*, XX, n^o 4, p. 201-206, 5 phot.
- Le tremblement de terre de Messine. *Revue scient. Bourbonnais centre France*, 22^e année, p. 4-6.
- L'éruption de l'Etna en avril-mai 1908. *Rev. gén. Sc.*, XX, p. 314 et 362-366.
1910. Sur l'existence à la Côte d'Ivoire d'une série pétrographique comparable à celle de la charnockite (de l'Inde). *C. R. Ac. Sc.*, t. 150, p. 18-20.
- Remarques à la suite de la communication du rapport de M. G. CORCORAN sur son expédition polaire. *Ibid.*, t. 150, p. 763-764.
- Sur la constitution minéralogique des phosphorites françaises. *Ibid.*, t. 150, p. 1213-1217.
- Sur le minéral à structure optique enroulée constituant les phosphorites holocristallines du Quercy (quercyite). *Ibid.*, t. 151, p. 1388-1390.
- Conséquences générales à tirer de l'étude de la constitution pétrographique de Tahiti. *Ibid.*, t. 151, p. 121-126.
- Sur quelques minéraux formés par l'action de l'eau de mer sur des objets métalliques romains trouvés en mer au large de Malak (Tunisie). *Ibid.*, t. 151, p. 276-279.
- Sur l'existence de la connellite en Algérie. *Bull. Soc. fr. Minér.*, t. 33, p. 33-34.
- Sur l'existence d'une variété (ammoniacale) de minervite à la Réunion. *Ibid.*, t. 33, p. 34-37.

- Nouvelles observations sur les minéraux des pegmatites de Madagascar. *Ibid.*, t. 33, p. 37-53.
- Sur la thénardite de Bilma (Sahara occidental). *Ibid.*, t. 33, p. 68-70.
- Sur l'existence de la cristobalite dans le massif du Mont-Dore. *Ibid.*, t. 33, p. 86-88.
- Sur la rivotite. *Ibid.*, t. 33, p. 190-191.
- Sur un minéral nouveau des mines de fer des environs de Segré (minguétite) (M.-et-L.). *Ibid.*, t. 33, p. 270-273.
- Sur un cas intéressant de formation de calcite dans un végétal, par une action biologique (Panama). *Ibid.*, t. 33, p. 273-276.
- Sur deux niobo-titanates (euxénite, blomstrandite) de Madagascar. *Ibid.*, t. 33, p. 321-323.
- Les roches alcalines de Tahiti. *B. S. G. F.* (4), X, p. 91-124, 2 pl.
- Observation à propos du Permien de Madagascar (à propos d'une communication de M. BOULE sur les observations du capitaine COLCANAP dans le pays Mahafaly). *Ibid.*, (4), X, p. 316.
- Minéralogie de la France et de ses colonies, t. IV. Baudry-Béranger, III + 920 p.
- Les minéraux radioactifs de Madagascar. *C. R. Ac. Sc.*, t. 152, p. 559-564.
- Le cortège filonien des péridotites de la Nouvelle-Calédonie (ouénite). *Ibid.*, t. 152, p. 816-822.
- Les matériaux des éruptions explosives rhyolitiques et trachytiques du volcan du Mont-Dore (en commun avec Aug. MICHEL-LÉVY). *Ibid.*, t. 152, p. 1200-1204. *Errata*, p. 1432.
- Les roches alcalines de Nosy-Komba (Madagascar). *Ibid.*, t. 153, p. 152-156.
- Samortierite de l'Équateur. *Bull. Soc. fr. Minéral.*, t. 34, p. 57-60.
- Sur quelques minéraux de Madagascar (bismuthite, lazulite, hatchetolite, monazite, blomstrandite, samarskite, autunite, mésotype, giobertite). *Ibid.*, t. 34, p. 63-71.
- Sur les propriétés optiques des béryls roses de Madagascar (en commun avec M. RENGADÉ). *Ibid.*, t. 34, p. 123-125.
- Les syénites néphéliniques de l'archipel de Los et leurs minéraux. *Nouv. Arch. Mus. Hist. nat.*, 5^e s., t. 3, p. 1-132, pl. I-X.
- Les cristaux de calcite du calcaire carbonifère de Louverné. *Bull. Soc. Sc. nat. Mayenne*, t. V, p. 133-149, 32 fig. géométriques.
- Instructions pour la recherche des minéraux radifères. *La Tribune de Madagascar*. Tananarive. Novembre.
- Le volcan de la Réunion. *C. R. Ac. Sc.*, t. 154, p. 169-174.
- Les laves du volcan actif de la Réunion. *Ibid.*, t. 154, p. 251-257.
- Les volcans du centre de Madagascar. Le massif de l'Itasy. *Ibid.*, t. 154, p. 313-317.
- Les volcans du centre de Madagascar; le massif de l'Ankaratra. *Ibid.*, t. 154, p. 476-481. *Errata*, p. 628.
- Les roches grenues, intrusives dans les brèches basaltiques de la Réunion, leur importance pour l'interprétation de l'origine des enclaves homœogènes des roches volcaniques. *Ibid.*, t. 154, p. 630-635.

- Sur les gisements de corindon de Madagascar. *Ibid.*, t. 154, p. 79-802.
- Les niobo-titanates uranifères (radioactifs) des pegmatites de Madagascar ; leur association fréquente à des minéraux bismuthifères. *Ibid.*, t. 154, p. 1040-1046.
- Les pegmatites gemmifères de Madagascar. *Ibid.*, t. 155, p. 44-447.
- L'origine du quartz transparent de Madagascar. *Ibid.*, t. 155, p. 49-496.
- Sur la constitution minéralogique des volcans de l'île de la Réunion. *Ibid.*, t. 155, p. 538-544.
- Note préliminaire sur quelques minéraux de Madagascar dont plusieurs peuvent être utilisés comme gemmes (orthose ferrière, diopside, kornerupine, saphirine). *Ibid.*, t. 155, p. 672-677.
- Sur l'existence de roches à néphéline dans les schistes cristallins de Madagascar. *Ibid.*, t. 155, p. 1123-1127.
- Les syénites néphéliniques de l'archipel de Los (Guinée). *Bull. Soc. fr. Minéral.*, t. 35, p. 5-44.
- Sur quelques minéraux des pegmatites du Vakinankaratra (Madagascar). *Ibid.*, t. 35, p. 76-84.
- Sur un groupe de niobo-tantalates cubiques radioactifs des pegmatites du Vakinankaratra. *Ibid.*, t. 35, p. 84-92.
- Sur l'existence des minéraux bismuthifères dans les pegmatites de Madagascar. *Ibid.*, t. 35, p. 92-95.
- Les gisements de lazulite du Vakinankaratra. *Ibid.*, t. 35, p. 95-97.
- Les gisements de cordiérite et d'amphibole rhombique de Madagascar. *Ibid.*, t. 35, p. 97-100.
- Sur l'existence de la bastnaésite dans les pegmatites de Madagascar. Les propriétés de ce minéral. *Ibid.*, t. 35, p. 108-113.
- Sur les minéraux du guano de la Réunion. *Ibid.*, t. 35, p. 114-117.
- Sur les zéolites du basalte de la Réunion (chabasie, analcime, mésolite, christianite, apophyllite, gyrolite). *Ibid.*, t. 35, p. 117-123.
- La tourmaline noire des environs de Betroka (Madagascar). *Ibid.*, t. 35, p. 123-129.
- Sur les minéraux de la pegmatite d'Ampangabe et de ses environs (Madagascar) et, en particulier, sur un minéral nouveau (ampangabéite). *Ibid.*, t. 35, p. 180-199.
- Sur la continuité de la variation des propriétés physiques des bérils de Madagascar, en relation avec leur composition chimique. *Ibid.*, t. 35, p. 200-208.
- Sur la silicification des végétaux par les sources thermales (Mont Dore, Madagascar). *Ibid.*, t. 208-211.
- Sur une nouvelle espèce minérale (manandonite) des pegmatites de Madagascar. *Ibid.*, t. 35, p. 223-226.
- Note complémentaire sur les minéraux des pegmatites d'Ampangabe (Madagascar) (topaze, struvérite). *Ibid.*, t. 35, p. 228-229.
- Note complémentaire sur les minéraux (monazite, orthite) d'Ambatofotsikely (Madagascar). *Ibid.*, t. 35, p. 231-233.

- Quelques nouvelles observations sur les minéraux uranifères (betafite, euxénite) de la province d'Itasy (Madagascar). *Ibid.*, t. 35, p. 233-236.
- Sur quelques minéraux des pegmatites du Vakinankaratra (rhodizite, danburite, hambergite, apatite, triphane, fluorine, monazite, palygorskite, calcédoine). *Bull. économique Madagascar*, Tananarive, t. 12, p. 101-105.
- Sur un groupe de niobo-tantalates cubiques (radioactifs) des pegmatites du Vakinankaratra. *Ibid.*, t. 12, p. 107-111.
- Sur l'existence de minéraux bismuthifères dans les pegmatites de Madagascar. *Ibid.*, t. 12, p. 113-114.
- Les gisements de lazulite du Vakinankaratra. *Ibid.*, t. 12, p. 115-116.
- A trip to Madagascar, the country of beryls. *Smithsonian Report*, p. 371-382, Washington (1913).
- Sur la constitution minéralogique et chimique des laves des volcans du centre de Madagascar. *C. R. Ac. Sc.*, t. 156, p. 175-180. *Errata*, p. 925.
- La constitution minéralogique de l'archipel de Los (Guinée). *Ibid.*, t. 156, p. 653-658.
- Sur les roches rhyolitiques et dacitiques de Madagascar et en particulier sur celles de la région Sakalave. *Ibid.*, t. 157, p. 14-21.
- Les cipolins de Madagascar et les roches silicatées qui en dérivent. *Ibid.*, t. 157, p. 358-362.
- Remarques au sujet de « A. Day et Shepherd Conclusions », tirées de l'analyse du gaz du cratère de Kilauea. *Ibid.*, t. 157, p. 1030.
- Les latérites de la Guinée et les produits d'altération qui leur sont associés. *Nouv. Arch. Mus. Hist. nat.*, 5^e s., 255-358, pl. X-XVII.
- Minéralogie de la France et de ses colonies, t. V. Paris, Baudry-Béranger, 501 p.
- Les latérites de Guinée. *C. R. Ac. Sc.*, t. 158, p. 835-838.
- Les roches basiques non volcaniques de Madagascar. *Ibid.*, t. 159, p. 417-422.
- La récente éruption d'Ambrym (décembre 1913) et la constitution des laves de ce volcan (Nouvelles-Hébrides). *Ibid.*, t. 159, p. 489-495.
- Les produits d'altération des roches silicatées alumineuses et en particulier les latérites de Madagascar. *Ibid.*, t. 159, p. 617-622.
- Sur un nouveau type pétrographique (manjakite) (Madagascar). *Bull. Soc. fr. Minéral.*, t. 37, p. 68-75.
- Propos de la tourmaline des serpentines (Madagascar). *Ibid.*, t. 37, p. 75-76.
- Sur quelques déformations des cristaux de betafite et de béryl (Madagascar). *Ibid.*, t. 37, p. 101-107.
- Les grenats des groupes almandin-spessartite pyrope à Madagascar. *Ibid.*, t. 37, p. 108-112.
- Sur l'existence de la thorianite à Madagascar. *Ibid.*, t. 37, p. 176-180.
- Note sur l'opale et sur un nouveau minéral (faratsihite) de Faratsiho (Madagascar). *Ibid.*, t. 37, p. 231-236.

- Argiles tongriennes de Romainville et leptynites grenatifères
propos des observations de M. DOLLFUS, p. 42, 44, 69). *C. R. som.*
S. G. F. (4), XIV, p. 54-55.
1915. Sur l'existence des roches néphéliniques grenues dans l'archi-
volcanique de Kerguelen. *C. R. Ac. Sc.*, t. 160, p. 187-190.
Sur de remarquables phénomènes métamorphiques de contact
granite de Madagascar. *Ibid.*, t. 160, p. 724-729.
Sur un type nouveau de roche granitique alcaline, renfermant
eucolite (fasibitikite) (Madagascar). *Ibid.*, t. 161, p. 253-258.
Sur l'anthosidélite du Brésil et sur les quartzites à magnétite
Madagascar qui renferment des pseudomorphoses de même nature.
Bull. Soc. fr. Minéral., t. 38, p. 9-15.
Sur la réaumurite (Montagne Pelée, Vésuve). *Ibid.*, t. 38, p. 16-21.
Sur le sphène malgache et sur ses pseudomorphoses (Sud de Ma-
dagascar). *Ibid.*, t. 38, p. 21-24.
Sur la beudantite du Laurion et sur la non-existence de la lossen-
comme espèce distincte. *Ibid.*, t. 38, p. 35-38.
La bastnaésite et la tscheffkinite de Madagascar ; le mode de gi-
ment de fluocarbonates ; pseudomorphoses d'origine pneumatol-
tique dans les granites alcalins. *Ibid.*, t. 38, p. 106-125.
Sur une macle secondaire suivant *p* dans la monazite de Madaga-
scar. *Ibid.*, t. 38, p. 126-129.
Sur un nouveau gisement français de jarosite (Saint-Léger, près
Mâcon). *Ibid.*, t. 38, p. 129-130.
Sur de nouveaux gisements de fergusonite à Madagascar. *Ibid.*, t.
p. 130-132.
Les zéolites de la côte sud-est de Madagascar. *Ibid.*, t. 38, p. 1
134.
Les zéolites et les produits siliceux des basaltes de l'archipel de K-
guelen. *Ibid.*, t. 38, p. 134-137.
Sur l'existence du xénotime à Madagascar. *Ibid.*, t. 38, p. 137-138.
Manandonite et cookéite (Antandrokomby, Madagascar). *Ibid.*, t.
p. 142-146.
Sur une macle de l'euxénite de Madagascar. *Ibid.*, t. 38, p. 147-1
La silice fondue considérée comme minéral (lechateliérite). *Ib*
t. 38, p. 182-186.
Sur les fulgurites exclusivement siliceuses du Sahara oriental et
quelques fulgurites silicatées des Pyrénées. *Ibid.*, t. 38, 188-1
Note préliminaire sur une nouvelle espèce minérale (furnacite) p-
venant du Moyen Congo. *Ibid.*, t. 38, p. 198-200.
Sur le malacon des pegmatites de Madagascar. *Ibid.*, t. 38, p. 2
204.
Sur un nouveau minéral (ambatoarinite) de Madagascar. *Ibid.*, t.
p. 265-271.
Sur une eucolite cérifère de Madagascar provenant d'un type n-
veau de roches granitiques à ægyrine. *Ibid.*, t. 38, p. 278-285.
1916. Sur quelques roches volcaniques mélanocrates des Possessions fr-
çaises de l'océan Indien et du Pacifique. *C. R. Ac. Sc.*, t. 163, p. 1
183. *Errata*, p. 228.

- La constitution des roches volcaniques de l'Archipel des Comores. *Ibid.*, t. 163, p. 213-249.
- La constitution des roches volcaniques de l'Extrême Nord de Madagascar et de Nosy-Bé ; les ankaratrites de Madagascar en général. *Ibid.*, t. 163, p. 253-258.
- Les syénites à riebeckite d'Alter-Pedroso (Portugal), leurs formes mésocrates (lusitanites) et leur transformation en leptynites et en gneiss. *Ibid.*, t. 163, p. 279-283.
- Les verres volcaniques du massif du Cantal. *Ibid.*, t. 163, p. 406-441.
- Les phénomènes de contact exomorphes et endomorphes des granites à égyrine et riebeckite du nord-ouest de Madagascar. *Ibid.*, t. 163, p. 726-731.
- Sur la caractéristique chimique de la dipyrisation des plagioclases des ophites des Pyrénées. *Bull. Soc. fr. Minéral.*, t. 39, p. 74-77.
- Erratum concernant une nouvelle espèce minérale du Congo (fornacite). *Ibid.*, t. 39, p. 84.
- Sur l'existence de la randannite à Madagascar. *Ibid.*, t. 39, p. 85-88.
- Sur le minéral colorant le plasma de Madagascar et sur la céladonite. *Ibid.*, t. 39, p. 90-95.
- Sur les relations existant entre la forme et les conditions de cristallisation de la tridymite (Montagne Pelée). *Ibid.*, t. 39, p. 154-155.
- Le soi-disant granite (gabbro à olivine) de l'île Bora-Bora (Iles Sous-le-Vent). *C. R. somm. S. G. F.*, p. 178-179.
- Les roches phonolitiques d'Auvergne. Un cas délicat d'interprétation de la composition chimique des roches à feldspathoïdes. *C. R. Ac. Sc.*, t. 164, p. 369-375.
- Les laves à haityne d'Auvergne (tahitites) et leurs enclaves homœogènes : importance théorique de ces dernières. *Ibid.*, t. 164, p. 581-588.
- Sur la transformation de quelques roches éruptives basiques en amphibolites (Madagascar). *Ibid.*, t. 164, p. 969-974.
- Les ortho-amphibolites et les ortho-pyroxénites feldspathiques de Madagascar. *Ibid.*, t. 165, p. 77-83.
- Les roches grenues d'un magma leucitique étudiées à l'aide des blocs holocristallins de la Somma. *Ibid.*, t. 165, p. 205-211.
- La composition et les modes d'altération des ophites des Pyrénées. *Ibid.*, t. 165, p. 293-298.
- Les péridotites des Pyrénées et les autres roches intrusives non feldspathiques qui les accompagnent. *Ibid.*, t. 165, p. 381-387.
- Les laves leucitiques de la Somma. *Ibid.*, t. 165, p. 481-487.
- Les formes grenues du magma leucitique du volcan laziale. *Ibid.*, t. 165, p. 1029-1035.
- Éruption du volcan Quetzalpeque et le tremblement de terre destructeur de San-Salvador (juin-juillet 1917). *Ibid.*, t. 165, p. 1077-1082.
- Sur un nouveau type ferrifère des schistes cristallins (collobriérite) (Maures). *Bull. Soc. fr. Minéral.*, t. 40, p. 62-69.
- La composition chimique de la vauquérite (Rhône) et la position de cette roche dans la systématique. *Ibid.*, t. 40, p. 158-162.

- Les gisements de l'or dans les Colonies françaises. *In* : Nos richesses coloniales (Conférences faites au Mus. Hist. nat. en 1917, Paris, Challamel, 1918.
1918. Sur quelques roches filoniennes sodiques de l'archipel de l'Inde (Guinée française). *C. R. Ac. Sc.*, t. 166, p. 539-545.
 Sur la constitution d'un sel de plantes provenant du Cameroun. *Ibid.*, t. 166, p. 1013-1015.
 Le gîte pyriteux de contact du granite de Chizeuil (S.-et-L.) et les roches métamorphiques. *Bull. Soc. fr. Minéral.*, t. 41, p. 14-21.
 Sur les dacites à enstatite de la région de Figeac et sur une lave à enstatite non feldspathique de Madagascar analogue à la boninite. *Ibid.*, t. 41, p. 43-52.
 L'ankaratrite à faciès lamprophyrique de Sainte-Florine, près Brissac (Haute-Loire). *Ibid.*, t. 41, p. 62-65.
 La composition chimique du gabbro du Pallet (Loire-Inférieure), ses variétés endomorphes (diiorite hypersthénique à cordiérite) et des roches filoniennes qui l'accompagnent. *Ibid.*, t. 41, p. 77-79.
 Le platine à Madagascar. *Ibid.*, t. 41, p. 98-99.
 Le gisement phosphaté de l'île Juan de Nova (Madagascar). *Ibid.*, t. 41, p. 100-103 et 104-108.
 Sur l'identité de l'iochroïte et de la tourmaline (Esbo, Finlande). *Ibid.*, t. 41, p. 130-131.
 Sur l'existence de la pseudobrookite dans les cavités des stalactites basaltiques de la Réunion. *Ibid.*, t. 41, p. 183-186.
 Sur quelques minéraux de Madagascar. *Ibid.*, t. 41, p. 186-196.
 Sur l'existence de roches volcaniques aux îles Loyauté (près de Nouvelle-Calédonie). *C. R. somm. S. G. F.*, p. 24-25.
 1919. Dacites et dacitoïdes à propos des laves de la Martinique. *C. R. Ac. Sc.*, t. 168, p. 297-302.
 Les laves leucitiques de Trébizonde et leurs transformations. *Ibid.*, t. 168, p. 637-642.
 Sur la présence du bore dans quelques silico-aluminates basiques naturels (en commun avec M. A. DE GRAMONT). *Ibid.*, t. 168, p. 857-861.
 Esquisse géologique du Tibesti, du Borkou, de l'Erdi et de l'Ennedi. Les formations sédimentaires (A. E. F.). (en commun avec M. TILHO). *Ibid.*, t. 168, p. 1169-1174. *Errata*, t. 169, p. 1435.
 Les volcans du Tibesti (en commun avec M. TILHO). *Ibid.*, t. 169, p. 1237-1240.
 Sur une scapolite de pegmatites de Madagascar constituant une gemme. *Ibid.*, t. 169, p. 261-264.
 La constitution minéralogique et chimique des laves des volcans du Tibesti. *Ibid.*, t. 169, p. 401-407. *Errata*, p. 592.
 L'activité éruptive du volcan de la Réunion de 1802 à 1817 d'après les observations d'un témoin oculaire. *B. S. G. F.* (4), XIX, p. 10.
 1920. La systématique des roches grenues à plagioclases et feldspathoïdes. *C. R. Ac. Sc.*, t. 170, p. 20-25. *Errata*, p. 148.

- Les roches éruptives du Crétacé pyrénéen et la nomenclature des roches éruptives modifiées. *Ibid.*, t. 170, p. 685-690. *Errata*, p. 912.
- L'éruption de la Katla (Islande) en 1918. *Ibid.*, t. 170, p. 861-865.
- Une éruption du volcan Karthala, à la Grande Comore, en août 1918. *Ibid.*, t. 171, p. 5-10.
- Sur l'existence à Madagascar d'un silicate de scandium et d'yttrium, la thortveitite. *Ibid.*, t. 171, p. 421-423.
- Sur les groupements réguliers de deux minéraux différents constituant certains fers titanés. *Ibid.*, t. 171, p. 481-485. *Errata*, p. 640.
- Sur une série de roches syénitiques alcalines « potassiques » à minéraux « sodiques » de Madagascar. *Ibid.*, t. 171, p. 594-600. *Errata*, p. 940.
- Sur un nouveau spinellide, la chromohercynite, provenant de Madagascar. *Bull. Soc. Fr. Minéral.*, t. 43, p. 69-70.
- La composition minéralogique de la rockallite (de l'île Rockall). *C. R. Ac. Sc.*, t. 173, p. 267-273.
- Sur la recherche spectrale du bore et sur sa présence dans quelques silico-aluminates naturels (en commun avec A. DE GRAMONT). *Bull. Soc. fr. Minéral.*, t. 44, p. 67-77.
- Documentation sur les Iles de Juan de Nova, Chesterfield, Europa, Barren, Nosi-Trozona (en commun avec J. ORCEL et H. PERRIER DE LA BATHE). *Bull. économique Madagascar*, Tananarive, 3^e trimestre, p. 165-187.
- Sur une syénite à corindon et sillimanite formée par endomorphisme du granite (corindonite) (Madagascar). *C. R. Ac. Sc.*, t. 174, p. 899-904.
- La constitution lithologique de l'archipel des Comores. *C. R. 13^e Cong. géol. intern. 1922* (1925), à Bruxelles, p. 949-979.
- Minéralogie de Madagascar, t. I, Géologie, Minéralogie descriptive, xvi + 624 p., 27 pl., carte ; t. II, Minéralogie appliquée, vii + 594 p., 29 pl., 11 cartes. Paris, Challamel.
2. Comparaison de la composition chimique de deux laves (basaltes) d'Islande caractérisant des éruptions dont le mode du dynamisme est différent. *C. R. Ac. Sc.*, t. 177, p. 369-373.
- La signification des granites alcalins très riches en soude. *Ibid.*, t. 177, p. 417-422. *Errata*, p. 1079.
- La constitution du banc de Rockall (Océan N. Atlantique). *Ibid.*, t. 177, p. 437-440.
- La composition de la météorite tombée à Saint-Sauveur en 1914 (Haute-Garonne). *Ibid.*, t. 177, p. 561-565.
- La notion de type doliomorphe en lithologie. *Ibid.*, t. 177, p. 661-666. *Errata*, p. 804.
- La météorite pierreuse tombée à Saint-Sauveur (Haute-Garonne) le 10 juillet 1914 (en commun avec MENGAUD et MOURIÉ). *Bull. Soc. fr. Minéral.*, t. 46, p. 109-117.
- Minéralogie de Madagascar, t. III, Lithologie, Appendice, Index géographique. Paris, Challamel, viii + 450 p., 8 pl., 1 carte.

1924. Les laves analcimiques de l'Afrique du Nord et, d'une façon générale, la classification des laves renfermant de l'analcime (scanoïte). *C. R. Ac. Sc.*, t. 178, p. 529-535.
- Nouvelles observations sur les syénites néphéliniques des îles de Loango (Guinée). *Ibid.*, t. 178, p. 1109-1114.
- Les roches éruptives grenues de l'archipel de Kerguelen. *Ibid.*, t. 179, p. 113-119.
- Sur un nouveau type de fer météorique trouvé dans le désert de l'Adrar (Mauritanie). *Ibid.*, t. 179, p. 309-313.
- Les fers météoriques du Sénégal et du Sahara. *Ibid.*, t. 179, p. 353-360.
- Remarques sur les dissogénites à propos de l'evergreenite du Colorado. *Ibid.*, t. 179, p. 945-950.
- Sur un nouveau type lithologique métamorphique (pyrophyllite). *C. R. somm. S. G. F.*, p. 175-176.
- Les basanites et les basaltes analcimiques d'Algérie et du Maroc. *Bull. Volcanologique* (1923), t. 1, p. 199-206.
- Le fer météorique de Chinguetti (Mauritanie). *C. R. Ac. Sc. colon. Fr.*, t. 4 (1926), 1924-1925, p. 353-355.
1925. La météorite de Roda (Huesca, Espagne). *C. R. Ac. Sc.*, t. 180, p. 893.
- Sur un nouveau type de roche éruptive alcaline mésocrate (ordosite) (Chine septentrionale). *Ibid.*, t. 180, p. 481-484. *Erratum*, p. 1230.
- Les météorites de Tuan Tuc (30 juin 1921) et de Phû Hong (22 septembre 1887) en Cochinchine. *Ibid.*, t. 180, p. 1977-1980.
- La météorite (eucrite) tombée dans la Haute-Volta le 27 juin 1921. *Ibid.*, t. 181, p. 745-749.
- Le gisement de la thorianite à Madagascar. *Bull. Soc. fr. Minéral.*, t. 48, p. 236-237.
- Note sur deux roches alcalines provenant de l'Ordos (Chine). *B. S. G. F.* (4), XXV, p. 489-493.
- La série lithologique de Melfi (Chari). *Ibid.*, (4), XXV, p. 495-501. 1 pl.
- Succession des éruptions et Bibliographie du Volcan actif de la Réunion. *Bull. volcanologique*, t. 3 et 4, p. 20-56, 1 carte.
- Sur une chute de météorite survenue dans la Haute-Volta en 1921. *Bull. Comité Ét. hist. scient. A. O. F.*, Dakar, p. 529-533.
1926. Une nouvelle éruption du volcan de la Réunion (30-31 décembre 1921). *C. R. Ac. Sc.*, t. 182, p. 505-506.
- La systématique des roches leucitiques : les types de la famille syénitique (kajanite) (Oëlé Kajan, Bornéo). *Ibid.*, t. 182, p. 596-601. *Erratum*, p. 732.
- Note préliminaire sur un aérolithe découvert dans le département de la Côte-d'Or et, à ce propos, remarques sur la classification et la nomenclature des chondrites. *Ibid.*, t. 182, p. 1498-1501.
- Les veinules fondues des météorites, leur analogie avec les « pseudotachylites » des régions terrestres écrasées (Béréba, Haute-Volta et Cachari, Rép. Argentine). *Ibid.*, t. 182, p. 1581-1584.

Les schistes cristallins à dumortière et lazulite de Madagascar. *Ibid.*, t. 183, p. 405-408.

Présentation d'un échantillon de potarite (Guyane anglaise). *Bull. Soc. fr. Minéral.*, t. 49, p. 5.

L'eucrie de Béréba (Haute-Volta) et les météorites feldspathiques en général. *Arch. Mus. Hist. nat.*, 6^e s., t. 1, p. 15-58, 7 pl.

La caractéristique lithologique des Petites Antilles. Livre jubilaire cinquantenaire Soc. géol. Belgique, p. 386-405.

La météorite de Vouillé. *C. R. Congr. Soc. Sav.*, Poitiers, p. 247-249.

Note sur quelques roches grenues de l'Afrique occidentale. *Bull. Comité Ét. hist. scient. A. O. F.*, Dakar, p. 38-51.

La constitution lithologique des îles volcaniques de la Polynésie australe. *Proc. Third Pan-Pacific Sc. Congr.*, Tokyo, v. I (1928), p. 734-737.

Sur l'existence dans le sud de l'Annam d'une pépérite résultant de l'intrusion d'un basalte dans un sédiment à Diatomées (en commun avec F. BLONDEL). *C. R. Ac. Sc.*, t. 184, p. 1145-1148.

Le fer météorique de l'oasis de Tamentit dans le Touat (Sahara algérien). *Ibid.*, t. 184, p. 1217-1220.

La composition et la structure du fer météorique de Tamentit. L'oxydation des fers météoriques à haute température. *Ibid.*, t. 185, p. 313-317.

La constitution lithologique des volcans du Pacifique Central Austral. *Ibid.*, t. 185, p. 425-428.

Les caractères chimico-minéralogiques des roches intrusives et volcaniques tertiaires de l'Afrique du Nord. *Ibid.*, t. 185, p. 573-576.

Sur l'existence des syénites néphéliniques dans la région de Rutshuru (Graben central africain) (en commun avec F. DELHAYE). *Ibid.*, t. 185, p. 589-593.

Premières observations sur la composition minéralogique et chimique des laves mésozoïques et tertiaires de la Chine orientale. *Ibid.*, t. 185, p. 733-737.

Les rhyolites et les trachytes hyperalcalins quartzifères, à propos de ceux de la Corée. *Ibid.*, t. 185, p. 1410-1415.

La constitution lithologique des îles volcaniques de la Polynésie australe. *Mém. Ac. Sc.*, t. 59, p. 1-82, 1 carte.

Les météorites tombées en France et dans ses colonies et conservées au Mus. d'Hist. natur. avec remarques sur la classification des météorites. *Bull. Mus. Hist. nat.*, t. 33, p. 411-455. *Addenda et errata*, p. 571-572.

Premières observations sur la composition minéralogique et chimique des laves mésozoïques et tertiaires de la Chine orientale. *Bull. volcanologique*, t. 4, p. 205-217.

La constitution lithologique des volcans du Pacifique Central austral. *Ibid.*, t. 4, nos 13 et 14, p. 218-231.

Les caractères chimico-minéralogiques des roches intrusives et volcaniques tertiaires de l'Afrique du Nord. *Ibid.*, t. 4, nos 13-14, p. 199-204.

1928. La composition des laves basaltiques de l'Indochine. *C. R. Ac. Sc.* t. 186, p. 985-991.
 Sur une nouvelle région de roches intrusives néphéliniques à Madagascar. *Ibid.*, t. 186, p. 1457-1460.
 Les pegmatitoïdes des roches volcaniques à faciès basaltique. *Ibid.* t. 187, p. 321-326.
 Nouvelles observations sur les laves des îles Marquises et de l'Île Tubuaï (Polynésie australe). *Ibid.*, t. 187, p. 365-369.
 Nouvelles observations sur les laves des îles Sous-le-Vent de l'Archipel de la Société. *Ibid.*, t. 187, p. 397-401.
 Sur la genèse de la jadéite de Birmanie. *Ibid.*, t. 187, p. 489-493.
 Sur la constitution des laves de l'île Mehetia (Archipel de la Société). *Ibid.*, t. 187, p. 857-860.
 Sur un nouveau type alumineux de pagodite. *Bull. Soc. fr. Minéral.* t. 51, p. 342-345.
 La composition minéralogique et chimique des roches éruptives particulièrement des laves mésozoïques et plus récentes de Chine orientale. *Bull. Geol. Soc. China*, t. 7, p. 13-59.
 La syénite néphélinifère de Haut-Tonkin et le gneiss qui en dérive. *Fennia*, t. 50, n° 37, p. 1-9, Helsingfors.
 Le prétendu « Marbre de Pursat » du Cambodge, variété alumineuse de pagodite. *C. R. Ac. Sc. colon. Fr.*, t. X, 1927-1928 (1929), p. 553-553.
 1929. Sur l'existence de tectites au Cambodge; leur morphologie. *C. R. Ac. Sc.*, t. 188, p. 117-121.
 Sur la composition chimique des tectites et, en particulier, de celle du Cambodge. *Ibid.*, t. 188, p. 284-289.
 Sur un aérolithe tombé à Beyrouth (Syrie). *Ibid.*, t. 188, p. 949-951.
 Sur un schiste cristallin à saphirine de Madagascar et sur les roches à saphirine en général. *Bull. Soc. fr. Minéral.*, t. 52, p. 76-81.
 L'activité du volcan de la Réunion au cours des trois dernières années. *Bull. volcanologique*, t. 6, p. 21-22.
 La constitution minéralogique et chimique des laves tertiaires quaternaires et modernes de Sumatra. *Ibid.*, t. 6, p. 53-56 (1933).
 La constitution minéralogique et chimique des laves intrapacifique (Pacifique central austral). *Proc. Fourth Pacific Sc. Cong.* v. II B, Java (Batavia-Bandœng, 1929), p. 941-950 (1930).
 Les pegmatitoïdes des roches volcaniques à faciès basaltique, à propos de celles du Wei-Tchang. Observations sur les laves de la Mandchourie et de la Mongolie orientale. *Bull. Geol. Soc. China*, t. 8, p. 45-58.
 1930. Nouvelles observations sur les tectites de l'Indochine. *C. R. Ac. Sc.* t. 191, p. 893-899.
 La jadéite de Birmanie, les roches qu'elle constitue ou qui l'accompagnent. Composition et origine. *Bull. Soc. fr. Minéral.*, t. 54, p. 216-254.
 Syénite néphélinique à villiaumite de l'île Rouma (Los). *Ibid.*, t. 54, p. 514.
 Remarques sur les matériaux de projection des volcans et sur

- génèse des roches pyroclastiques qu'ils constituent. Livre jubilaire Centenaire Soc. Géol. Fr., 1830-1930, t. 2, p. 431-472, 4 pl.
- Les roches hyperalcalines du massif du Fantalé et du col de Balla (Abyssinie). *Mém. Soc. Géol. Fr.*, nouv. sér., t. 6, fasc. 3-4, Mém. n° 14, p. 89-102.
- Les pegmatites de la syénite sodalitique de l'île Rouma (Archipel de Los, Guinée française). Description d'un nouveau minéral (sérandite) qu'elles renferment. *C. R. Ac. Sc.*, t. 192, p. 189-194.
- Les phonolites néphéliniques et leucitiques de l'île Ua-Pou (Archipel des Marquises). *Ibid.*, t. 192, p. 1161-1166.
- Les minéraux de la syénite néphélinique à aëgyrine du nord de l'île Kassa. Les diverses phases pneumatolytiques des syénites néphéliniques de l'Archipel de Los. *Ibid.*, t. 192, p. 1322-1326.
- Nouvelles observations sur les tectites de l'Indochine. Discussion de leur origine. *Ibid.*, t. 192, p. 1685-1689.
- Les tectites des Philippines. *Ibid.*, t. 193, p. 265-267.
- Sur la chute récente (27 juin 1931) d'une météorite asidérite dans l'extrême sud Tunisien (à Tataouine). *Ibid.*, t. 193, p. 305-309.
- Nouvelles observations sur les fulgurites exclusivement siliceuses du Sahara. *Bull. Soc. fr. Minéral.*, t. 54, p. 75-79.
- Météorite de Tataouine (présentation d'échantillon). *Ibid.*, t. 54, p. 186.
- Grcon dans les alluvions du Nord du Cambodge. *Ibid.*, t. 54, p. 197.
- La météorite de Tataouine (extrême sud Tunisien). *C. R. somm. S. G. F.*, p. 241-242.
- La minéralogie de la France d'Outre-Mer (départements algériens, colonies, protectorats) au Muséum national d'Histoire naturelle. *Bull. Mus. Hist. nat.*, 2^e s., t. III (Suppl. 1931), p. 1-137.
- Les pierres précieuses de Madagascar. *La Revue des Vivants*, 5^e a, n° 4, p. 445-452.
- Le volcan de la Réunion. *La Terre et la Vie*, n° 1, février, p. 7-15.
- Les roches intrusives et filoniennes de la région granitique et sédimentaire du Nord du Tibesti. *C. R. Ac. Sc.*, t. 194, p. 670-674.
- La composition des laves orthosiques des volcans du Tibesti. *Ibid.*, t. 194, p. 757-761.
- Chutes récentes de météorites en Afrique occidentale (en territoire anglais). *Ibid.*, t. 194, p. 1533-1535.
- La météorite (diogénite) de Tataouine (Tunisie) (27 juin 1931). *Bull. Soc. fr. Minéral.*, t. 55, p. 101-122.
- Etude chimicominéralogique de certaines roches intrusives de Sumatra. *Ibid.*, t. 55, p. 172-212.
- Les tectites de l'Indochine. *Arch. Mus. Hist. nat.*, 6^e s., t. 8, p. 139-236, 43 fig., 12 pl.
- Guyane française (géologie et lithologie). In : La Géologie et les Mines de la France d'Outre-Mer. Publication Bureau Ét. géol. min. colon., Paris, p. 485-504.
- Madagascar : I. Le massif cristallin de Madagascar : A. Schistes cristallins ; B. Roches intrusives anciennes ; C. Formations volcaniques et intrusion post-crétacées ; D. Sédiments récents. — II. Gisements minéraux et métallifères : A. Graphite, micas,

- gemmes, minéraux radioactifs, zircon; B. Or, platine, argent, plomb, cuivre, fer, titane, étain et tungstène, nickel, bismuth. *Ibid.*, p. 293-320.
- Figures de savants, t. I, 325 p.; t. II, 357 p. Paris, Gauthier-Villars.
1933. Sur une météorite pierreuse tombée au Maroc, le 22 août 1932. *C. R. Ac. Sc.*, t. 197, p. 368-370.
- Sur une chute de météorite survenue au Cambodge, le 9 janvier 1933. *Ibid.*, t. 197, p. 556-567.
- Les roches éruptives potassiques, leucitiques ou non, du Tonkin occidental. *Ibid.*, t. 197, p. 625-627.
- Communication sur une curieuse roche de Madagascar à faciès gneissique (lamboanile). *C. R. somm. S. G. F.*, p. 62.
- La constitution lithologique de Nosy Mitsio (nord de Madagascar). Conséquences à en tirer. *B. S. G. F.* (5), III, p. 107-124.
- Contribution à la connaissance de la composition chimique et minéralogique des roches éruptives de l'Indochine. *Bull. Serv. géol. Indochine*, vol. XX, fasc. 3, p. 1-208, VI pl.
- Classification des roches éruptives, *Ibid.*, vol. XX, p. 15-36 et 187-206.
- Recent observations on the Mineralogical and Chemical Constitution of the intrapacific Lavas. South Central Pacific. A 7.46. *Pacific Sc. Congr.* Victoria and Vancouver, B. C. Canada, V. (1934), p. 2539-2542.
- The Tektites of Indochina and the East Indian Archipelago. A 7.47. *Ibid.*, p. 2543-2545.
- Sur quelques granites des environs de Porto, *An. Fac. Cie Porto*, XVIII, p. 43-48.
- L'étain et le tungstène (minerais). Gisements des possessions françaises et du Yunnan. In : Les ressources minérales de la France d'Outre-Mer, t. 2. Le fer, etc. Publications Bureau d'Ét. géol. min. colon. N° 4, p. 245-286 et 7 fig.
1934. Nouvelles observations sur la distribution des tectites en Indochine et dans les pays voisins. *C. R. Ac. Sc.*, t. 199, p. 6-9.
- Sur la découverte de tectites à la Côte d'Ivoire. *Ibid.*, t. 199, p. 1539-1542.
- Volcanisme et lithologie (du Tibesti), in DALLONI : Mission au Tibesti (1930-1931). *Mém. Ac. Sc.*, t. 61, p. 169-366, 11 pl., 2 cartes.
- Les phénomènes d'altération superficielle des roches silicatées altérables mineuses des pays tropicaux. Leurs conséquences au point de vue minier. In : Introduction aux études minières coloniales. Publications Bur. Ét. géol. min. colon., Paris, p. 295-320.
1935. Sur des météorites pierreuses tombées dans l'Aïr (colonie du Niger). *C. R. Ac. Sc.*, t. 200, p. 1641-1643.
- Les tectites sans formes figurées de l'Indochine. *Ibid.*, t. 200, p. 2129-2132.
- Les tectites de l'Indochine et de ses abords et celles de la Côte d'Ivoire. *Arch. Mus. Hist. nat.*, 6^e s., t. 12 (vol. Tricentenaire Muséum), p. 151-170, 4 pl.

- les gisements phosphatés de grottes et de filons remplis *per des-censum* ; les gisements superficiels des îles des mers équatoriales et tropicales. *In* : Les ressources minérales de la France d'Outre-Mer, t. 4. Le phosphate. Publications Bureau Ét. géol. min. colon., Paris, p. 145-193.
- les pierres précieuses, semi-précieuses ou d'ornementation. *Ibid.*, t. 3, p. 267-321.
- Composition minéralogique des roches volcaniques de l'île de Pâques. *C. R. Ac. Sc.*, t. 202, p. 527-530.
- Composition chimique des laves de l'île de Pâques. *Ibid.*, t. 202, p. 601-606. *Erratum*, p. 784.
- les roches volcaniques de l'île Pitcairn (Océan Pacifique Austral). *Ibid.*, t. 202, p. 788-791.
- sur des météorites (aérolithes), trouvées dans le Taneczrouft (Sahara occidental). *Ibid.*, t. 203, p. 901-903.
- les fulgurites du Sahara. *C. R. Ac. Sc. colon. fr.* (séance du 12 juin 1933, tirage à part 1936), Public., t. 18, 1931-1940 (1942), p. 151-168, 1 carte, pl. I-IX.
- le volcan actif de l'île de la Réunion et ses produits. Paris, Gauthier-Villars, 1 vol., ix + 297 p., 68 pl., 1 carte.
- sur un nouveau type basaltique, forme d'épanchement d'une norite et comparable, au point de vue chimicominéralogique, aux météorites feldspathiques (Sakalava, Madagascar), *CR. Ac. Sc.*, t. 204-p. 1909-1913. *Errata*, t. 205, p. 396.
- sur une chute de météorite pierreuse en Nouvelle-Calédonie, survenue le 15 juillet 1936. *Ibid.*, t. 204, p. 625-626.
- de la réalité d'une éruption de la Soufrière de Saint-Vincent en 1718, d'après une observation faite à la Guadeloupe. *Ibid.*, t. 205, p. 301-303.
- la nature du gisement de zircon du Mont Ampanobe, à Madagascar. *Ibid.*, t. 205, p. 1333-1336.
- la chute de météorite de Nassirah (Nouvelle-Calédonie), le 15 juillet 1936. *Bull. Soc. fr. Minéral.*, t. 60, p. 226-229.
- Hipperton, îles de Pâques et Pitcairn. Esquisse lithologique. *Ann. Inst. océanographique*, Paris, nouv. sér., t. XVIII, fasc. 4, p. 289-340, 3 cartes, pl. II, V.
- les roches grenues conjointes de l'ankaratrite du Takarindoha, à Madagascar. *C. R. Ac. Sc.*, t. 206, p. 548-552. *Errata*, p. 960.
- le volcan actif de l'île de la Réunion (supplément) et celui de la Grande Comore. Paris, Gauthier-Villars, 1 vol., ii + 57 p., pl. 69-85, 1 carte.
- figures de Savants, t. III, 220 p. ; t. IV, 259 p. Paris, Gauthier-Villars.
- les étapes silencieuses de la formation d'un nouveau cratère à faciès de caldeira, au sommet du Piton de la Fournaise (île de la Réunion). *C. R. Ac. Sc.*, t. 208, p. 58-61.
- remarques sur les volcans sous-marins, à propos de ponces rhyolitiques recueillies sur l'Atoll Marutea du Sud (Archipel des Tuamotu). *Ibid.*, t. 208, p. 609-612.

- Les ponce dacitiques flottant sur l'Océan entre les Figi, les Nouvelles-Hébrides et la Nouvelle-Calédonie. *Ibid.*, t. 208, p. 885-7. *Errata*, t. 211, p. 116.
- Sur la production de basalte et d'océanite au cours d'une éruption du volcan actif (Piton de la Fournaise) de l'île de la Réunion (7 décembre 1938 à 11 janvier 1939). *Ibid.*, t. 209, p. 405-408.
- Conséquences à tirer d'observations sur l'éruption récente de la Réunion. *Ibid.*, t. 209, p. 421-423.
- Sur un nouveau type de roches métamorphiques (sakénites) faisant partie des schistes cristallins du sud de Madagascar. *Ibid.*, t. 210, p. 609-612.
- Les transformations récentes du sommet du volcan actif (Piton de la Fournaise) de la Réunion. *Bull. volcanologique*, 2^e s., t. 210, p. 3-17, 14 pl.
- La lamboanite, schiste cristallin à faciès gneissique dépourvu de quartz et pegmatite à cordiérite qui l'accompagne à Ankadita (sud de Madagascar). *Bull. Soc. fr. Minéral.*, t. 62, p. 289-290.
- Observations sur quelques minéraux de Madagascar. *Ibid.*, t. 62, p. 300-309.
1940. Les roches dépourvues de feldspath du cortège des sakénites (Madagascar). Composition chimique de cet ensemble. *C. R. Ac. Sc.*, t. 210, p. 193-196.
- Les gisements de phlogopite de l'extrême sud de Madagascar. *Ibid.*, t. 210, p. 273-276.
- Les transformations minéralogiques secondaires observées dans les gisements de phlogopite de l'extrême sud de Madagascar. *Ibid.*, t. 210, p. 353-357.
- Les modifications minéralogiques secondaires du gisement de phlogopite de Volonandronga (ouest du massif central de Madagascar). *Ibid.*, t. 210, p. 425-429.
- Les caractéristiques des laves des îles situées au sud de l'Équateur formant la limite du domaine circumpacifique dans la région des Nouvelles-Hébrides et de la fosse Tonga-Kermadec. *Ibid.*, t. 210, p. 37-40.
- Conclusions de l'étude des laves des volcans situés au sud de l'Équateur, dans la bordure de la zone circumpacifique. *Ibid.*, t. 210, p. 88-90. *Erratum*, p. 288.
- Les roches basaltiques de l'île Maré (Archipel Loyauté). *B. S. G. G.*, (5), XI, p. 121-125.
- Les laves des volcans inactifs des îles Marion et Crozet, in : *Cronique de la « Bougainville » aux îles Australes françaises. Mém. Mus. Hist. nat.* (nouv. sér.), XIV, p. 47-61.
- Sur la production de basalte et d'océanite au cours d'une éruption du volcan actif (Piton de la Fournaise) de l'île de la Réunion. *Bull. volcanologique*, 2^e s., vol. VII, p. 67-70.
- Conséquences à tirer d'observations sur l'éruption récente du volcan de la Réunion. *Ibid.*, 2^e s., vol. VII, p. 70-73.
1941. Essai d'interprétation de la genèse des gisements malgaches de phlogopite. *C. R. Ac. Sc.*, t. 212, p. 941-945.

- péridotite et sagvandite du sud de Madagascar. *Ibid.*, t. 213, p. 261-265.
- Composition minéralogique et chimique des laves des volcans des îles de l'Océan Pacifique situées entre l'Équateur et le Tropique du Capricorne, le 175° de long. Ouest et le 165° de long. Est. *Mém. Ac. Sc.*, t. 63, 1936-1939 (1941), n° 2, p. 1-98, 9 pl., 1 carte.
- Les glaucophanites de la Nouvelle-Calédonie et les roches qui les accompagnent, leur composition et leur genèse. *Ibid.*, t. 65, n° 3, p. 1-103, pl. I-IV (1942).
- Les gisements de phlogopite de Madagascar et les pyroxénites qui les renferment. *Ann. géol. Serr. Mines Madagascar*, Tananarive, fasc. XI, p. 1-119, 12 pl., 11 fig.
- Une éruption du Piton de la Fournaise (Ile de la Réunion). *C. R. Ac. Sc.*, t. 215, p. 517-518.
- Les péridotites de la Nouvelle-Calédonie. Leurs serpentines et leurs gites de nickel et de cobalt. Les gabbros qui les accompagnent. Leurs soi-disant jades et jadéites. *Mém. Ac. Sc.*, t. 66, n° 2, p. 1-140, pl. I-XIII, 1 carte (1943).
- Nouvelles observation sur les fulgurites du Sahara. *Bull. Serv. Mines A. O. F.*, Dakar, n° 6, p. 25-36, pl. I-VII.
- La vie et l'œuvre de l'Abbé RENÉ-JUST HAÏY. *Bull. Soc. fr. Minéral.*, t. 67, p. 15-226.
- Sur un nouveau cas de formation de tridymite par fusion d'une enclave quartzique d'un volcan andésitique (Tanna, des Nouvelles-Hébrides). *C. R. Ac. Sc.*, t. 223, p. 409-412.

LISTE DES MINÉRAUX NOUVEAUX DÉCRITS PAR M. A. LACROIX

marinite	Fouchérite	Palmiérîte
gabbroite	Fouquéite	Planchéite
adite	Georgiadésite	Prixite
ite (var. de	Giorgiosite	Pseudoboléite
ceitite)	Gonnardite	Pseudocalcédonite
	Gouréite	Quercyite
	Grandidiérite	Ranciéite
ite	Imerinite	Réaumurite
chereynite	Lechatéliérite	Romanéchite
adamite	Losite	Samirésite
lamite	Manaudonite	Sérandite
ite	Métathénardite	Seyrigite
ite	Métacristobalite	Soumansite
ite	Minervite ammoniacale	Torendrikite
ite	Morinite	Vliatéite
ite	Orthose ferrifère	Villiaumite.
ite (non furna-	Oxalate de sodium et d'ammonium	

BIBLIOGRAPHIE

Plusieurs notices bibliographiques ont déjà paru sur A. Lacroix, en France et à l'étranger. Il nous paraît intéressant d'en donner ici la bibliographie.

1. Académie des Sciences de l'Institut de France, séance du 22 mars 1948.
Discours de M. H. VILLAT président de l'Académie et de M. L. BROGLIE, secrétaire perpétuel. *C. R. Acad. Sc.*, t. 226 (1948), p. 978.
2. C. BURRI. — Alfred Lacroix (1863-1948), *Schweiz. Min. Petr. M.* Bd XXIX, 1949, p. 199-208.
3. W. CAMPBELL SMITH. — Prof. A. Lacroix, *Nature* (London), t. 161 (1948), p. 962-963.
4. R. COURRIER. — Notice historique sur Alfred Lacroix, Membre de la section de Minéralogie, secrétaire perpétuel pour les Sciences physiques. Lecture faite en la séance annuelle des prix du 13 décembre 1948. Inst. de France, Académie des Sc. (1948), 127 p., *Mé. Acad. Sc.* (2) 67 (1949).
5. M.-E. DENAEYER. — Alfred Lacroix (1863-1948). *Bull. Soc. Belge Géol. Pal. Hydr.* (Bruxelles), t. 57 (1948), 197-198.
6. Ch. JACOB. — Alfred Lacroix (1863-1948). *C. R. mensuels séances Acad. Sciences coloniales* (Paris), t. 8 (1948), p. 299-316 et *C. R. Séances Soc. Géol. Fr.* (1948), p. 131-133 (séance du 12 avril).
7. M^{me} E. JÉRÉMINE et M. A. MICHEL-LÉVY. — Alfred Lacroix (1863-1948). *Bull. volcanologique de l'Union géol. et géogr. intern.*, série t. 10, 1950, 17 p. (Naples).
8. F. MACHATSCHKE. — Alfred Lacroix, *Almanach d. Österr. Akad. d. Wiss.* 98 (1948), Vienne, 1949, p. 258-262.
9. C. MAURAIN. — Alfred Lacroix (1863-1948), *Ann. Géophys.*, t. 4 (1948), p. 173-176.
10. J. ORCEL. — Alfred Lacroix. *Larousse mensuel*, t. 12, n° 406, juin 1949, p. 89.
11. J. ORCEL. — Memorial of A. Lacroix, *Amer. Miner.*, t. 34 (1949), p. 248.
12. J. ORCEL. — Alfred Lacroix (1863-1948). — *Bull. Soc. géol. de France* 5^e sér., t. 49 (1949), fasc. 4-5-6, p. 353-408.
13. J. ORCEL. — Notice nécrologique sur [A. Lacroix, *Sciences*, vol. n° 59, juillet-août-septembre 1948, p. I-III.
14. I. N. PAPASTAMATIOU. — Alfred Lacroix, *Aión tou atomou*, juin 1949, p. 424-425.
15. C. TORRE DA ASSUNÇÃO. — A figura e a obra do Prof. A. Lacroix, *Bol. Soc. geol. Portugal*, t. 7 (1948), p. 162-172.
16. A. N. WINCHELL. — Memorial to François-Antoine-Alfred Lacroix. *Proc. Vol. Geol. Soc. Amer. for 1948* (1949), p. 483-485.

LES STRUCTURES DE BIOXYDES DE MANGANÈSE UTILISÉS DANS LES COUPLES ÉLECTRO-CHIMIQUES

PAR JEAN BRENET, ..

Docteur ès Sciences,

Laboratoire de Recherches de la Société des piles Wonder, *Saint-Ouen*.

Sommaire. — On a repris l'étude de la structure de bioxydes de manganèse présentant soit uniquement la structure quadratique, soit une structure plus complexe.

Enfin, dans le cas de la pyrolusite quadratique, on est amené à penser qu'on ne peut fixer une valeur unique des paramètres. L'origine du échantillon exerce une action sur ces paramètres. En outre, l'étude complète des facteurs de structure conduit à envisager un assemblage non compact des ions Mn et O, et une polarisation des ions oxygène qui pourraient être en relation avec les propriétés catalytiques et électrochimiques.

INTRODUCTION.

La structure de bioxyde de manganèse est un problème sur lequel l'attention des cristallographes a été attirée depuis déjà longtemps. Cependant, cette étude a dépassé très largement le cadre de la cristallographie pour déborder sur le domaine de la chimie des oxydes de Mn, ainsi que sur le domaine électrochimique en raison de l'intérêt essentiel que présente ce composé dans les phénomènes de dépolarisation dans le couple électrochimique dit au bioxyde de manganèse, et enfin sur le domaine de la catalyse, en raison du caractère de catalyseur de réduction bien connu que présente également cet oxyde. Ces études cristallographiques sont nombreuses, aussi, à cause de la diversité des résultats dont nous avons pu avoir connaissance, avons-nous été amené à reprendre le problème afin de préciser un certain nombre de points qui nous ont paru peu nets et peu conformes peut-être à certaines études que nous poursuivions par ailleurs par d'autres méthodes.

I) PRINCIPAUX RÉSULTATS CONCERNANT LA STRUCTURE DU BIOXYDE DE MANGANÈSE.

La littérature classique semble généralement d'accord pour considérer que le bioxyde de manganèse sous sa forme pure apparaît sous forme quadratique. Les cristaux appartiennent au type C_4 et avec le groupe de symétries $P \frac{4}{m} n m$. Les caractéristiques données sont, selon Ferrari (1)

$$a = 4,380 \text{ \AA} \quad c = 2,856 \text{ \AA} \quad \frac{c}{a} = 0,654.$$

Récemment, Wyckoff (2) a donné les valeurs suivantes

$$a = 4,44 \dots \dots c = 2,89 \quad \frac{c}{a} = 0,65.$$

La forme cristalline est comparable à celle de SnO_2 ou TiO_2 rutile. Certains auteurs avaient initialement adopté la dénomination polianite pour les bioxydes répondant à ces caractéristiques. D'autres auteurs ont considéré une forme orthorhombique qui a été appelée pyrolusite. Dans ce cas cependant, il résulte d'études diverses que l'on ne serait pas en présence d'un véritable bioxyde. En effet, la pyrolusite serait une pseudomorphose de l'acérodèse MnO_2 , MnO , H_2O et résulterait de cet oxyde hydraté par perte de H_2O suivie d'une réoxydation. Strung (3), toutefois, dans une étude au microscope électronique, considère qu'il existe deux formes de MnO_2 , l'une tétragonale, l'autre orthorhombique, alors que selon lui les rayons X ont montré l'identité de la polianite et la pyrolusite avec le réseau du rutile.

Récemment, dans une étude d'ensemble sur les modifications du bioxyde de manganèse, F. Mc. Murdie et F. Golovato (4), considèrent que l'on doit exclure la dénomination polianite, car il y a bien identité entre polianite et pyrolusite ainsi que l'a démontré un travail déjà ancien de A. St. John (5).

A côté de ces formes bien cristallisées et donnant un diagramme net de quadratique centré avec l'ensemble des

aux que l'on doit attendre pour ce type, maints auteurs ont des variétés moins bien cristallisées, et pour lesquelles on ne peut cependant penser à la présence d'impuretés ou de composés minéraux complexes accompagnant le minéral; ce point sera examiné dans la seconde partie de l'étude.

Une autre variété naturelle a également été décrite, le cryptomélane, qui selon Mc Murdie et Golovato (4) serait identique au $\text{MnO}_2 \alpha$ signalé par Dubois (6), sur lequel nous allons revenir. Rasmundell (7) en a donné la structure qui serait quadratique centrée avec les constantes :

$$a = 9,82 \text{ \AA} \quad \text{et} \quad c = 2,86 \text{ \AA}.$$

En outre, selon Mc. Murdie et Golovato, le minéral psilomélane donnerait aux rayons X des raies identiques à celles du cryptomélane, et il pourrait facilement y avoir confusion entre ces deux variétés.

Malgré les bioxydes, ou présumés tels, signalés, il faut évidemment mentionner les variétés $\text{MnO}_2 \alpha$, β , γ et δ . Les variétés α et β ont été décrites par Dubois (6); la variété γ par Rasmundell (8) et la variété δ par Mc Murdie (9).

Les variétés α et β nous devons retenir surtout la variété α qui, comme nous l'avons indiqué précédemment, a un diagramme identique au cryptomélane, et paraît quadratique centrée.

La variété β n'a pas, à notre connaissance, fait l'objet d'une étude complète du point de vue cristallographique puisqu'un auteur n'a donné son système cristallin. En effet, l'auteur s'est contenté de comparer les diagrammes fournis par le $\text{MnO}_2 \alpha$ et $\text{MnO}_2 \beta$, en se plaçant au point de vue du déplacement et de l'intensité des raies de chaque cas, sans pour donner les indices de Miller (h , k , l) attribuables aux anneaux de Debye. Ainsi, il nous semble que du point de vue cristallographique il y a là une insuffisance. Il ne nous paraît pas en effet que la seule apparition ou disparition de certains anneaux justifie une conclusion quant à l'existence d'une nouvelle variété de MnO_2 . Toutefois, selon Dubois, la

variété β donnerait un diagramme identique à celui de la pyrolusite.

La variété γ signalée par Glemser (8) a été particulièrement étudiée récemment par Feitknecht et Marti (10). Ces auteurs ont signalé tout d'abord diverses formes de bioxydes qui semblent être plutôt des manganites de manganèse. Du point de vue cristallographique, on serait en présence d'un réseau de doubles couches formé par des couches de MnO_2 séparées par des couches désordonnées de $\text{Mn}(\text{OH})_2$. La structure de l'ensemble serait hexagonale avec pour paramètres :

$$a = 2,83 \text{ \AA} \quad c = 7,45 \text{ \AA}.$$

La formule de ces composés serait $4 \text{ MnO}_2, \text{ Mn}(\text{OH})_2$, ce qui correspondrait à $\text{MnO}_{1,8}$.

Pour $\gamma \text{ MnO}_2$, ces mêmes auteurs distinguent 2 groupes : le premier qui est rapproché de manganites à structure hexagonale aurait pour paramètres :

$$a = 3,56 \text{ \AA} \quad c = 4,12 \text{ \AA}.$$

Dans ce cas le volume de la maille serait sensiblement double de celui de $\beta \text{ MnO}_2$ décrit par Dubois (114 \AA^3 contre $56,5 \text{ \AA}^3$). La valeur de $\frac{c}{a}$ étant sensiblement moitié du rapport correspondant à une structure hexagonale compacte. Feitknecht et Marti pensent que l'on aurait affaire à un assemblage presque compact pour les ions oxygène. Les ions manganèse seraient alors inclus dans cet assemblage sans que l'on puisse cependant préciser dans quelle position.

Pour le second groupe $\gamma \text{ MnO}_2$, on serait encore en présence d'un assemblage du même type mais les auteurs n'ont pu attribuer des indices caractéristiques aux raies faibles.

Dans les deux cas cependant, les auteurs estiment que l'on devrait retrouver un assemblage presque compact en ions manganèse mais déformé cependant, et avec, en plus, une répartition différente de ces ions manganèse.

Dans ce cas, il se pose le problème du déficit en oxygène qui proviendrait du remplacement des ions O^{2-} par des ions OH^- et des ions Mn^{+4} par des ions Mn^{+3} .

fin, pour la variété δ signalée par Mc Murdie (9), il ne s'agit, selon Mc Murdie et Golovato (4), que d'une forme amorphe selon Gruner (11) ou de la forme manganite de granèse de Feitknecht et Marti. La forme δ serait donc tout au plus une forme mal cristallisée.

II) EXAMENS CRISTALLOGRAPHIQUES

DE DIVERS ÉCHANTILLONS DE BIOXYDES DE MANGANÈSES NATURELS ET ARTIFICIELS.

La diversité des résultats exposés dans le premier paragraphe nous a amené à reprendre une fois encore l'étude de la structure des corps présumés répondre à la formule MnO_2 . Dans cette étude nous devons donc distinguer deux groupes d'échantillons :

1) Échantillons donnant un diagramme de pyrolusite quadratique centrée avec absence totale de toute raie étrangère, tels que dans le présent mémoire.

2) Échantillons donnant des diagrammes plus ou moins hexagones. Ces échantillons nous semblent pouvoir, pour être précis, être rattachés à la structure quadratique. Toutefois, certains diagrammes révèlent un certain nombre de faits remarquables qui nous apparaissent comme étant en relation avec l'activité catalytique et dépolarisante de ces produits. Leur étude fera l'objet d'un second mémoire.

Pour les deux types *a* et *b* de produits, les diagrammes ont été étudiés au double point de vue des positions de raies et des intensités relatives, dans toute la mesure du possible.

III) DIAGRAMMES DU TYPE *a*.

1) Détermination des paramètres du réseau.

Les diagrammes comportent donc uniquement des raies correspondant à l'ensemble des plans réticulaires du système quadratique centré, compte tenu des facteurs de structure des différents systèmes des plans pour le bioxyde de manganèse.

Nous avons repris des déterminations des constantes sur

toute une série d'échantillons d'origines diverses : les uns étaient des minerais naturels provenant du Maroc, d'Espagne et de Java, les autres provenaient soit de la décomposition du nitrate de manganèse pur, soit de certains traitements minerais naturels. En particulier, l'un d'eux résultait de l'attaque par HCl refroidi à -20° de minerai naturel présentant lui-même un diagramme quadratique. Le filtrat était alors immédiatement versé dans une solution d'ammoniaque concentrée. Le résidu obtenu par précipitation était alors lavé et séché à 105° .

Ceci nous a permis d'examiner huit échantillons qui nous ont donné les résultats faisant l'objet du tableau I, pour le paramètre a et le rapport $\frac{c}{a}$:

TABLEAU I.

Paramètres cristallins de divers échantillons.

	a			$\frac{c}{a}$		
MnO ₂ nitrate.....	4,395	±	0,006	0,651	±	0,002
Maroc naturel.....	4,409	±	0,005	0,650	±	0,008
Java.....	4,418	±	0,006	0,649	±	0,003
Espagne.....	4,405	±	0,007	0,653	±	0,003
E { résultats de divers	4,414	±	0,006	0,649	±	0,003
F { traitements sur	4,404	±	0,006	0,656	±	0,003
G { Maroc naturel	4,404	±	0,006	0,656	±	0,004
{ attaque minerai						
S { par HCl à -20°	4,406	±	0,006	0,656	±	0,004
{ et précipitation						
{ dans ammoniaque						

Dans ces résultats, nous détacherons deux d'entre eux. Le premier est relatif au bioxyde du nitrate qui a permis une détermination particulièrement soignée du paramètre a et du paramètre c . Cette détermination, en effet, a été faite par nous-même et indépendamment par M. Rose au laboratoire de Minéralogie de la Sorbonne, à qui nous adressons nos vifs remerciements.

ici les résultats respectifs :

$$\text{Genet} \quad a = 4,395 \text{ \AA} \quad \frac{c}{a} = 0,651$$

$$c = 2,86$$

$$\text{Rose} \quad a = 4,390 \quad \frac{c}{a} = 0,651$$

$$c = 2,85.$$

Le second concerne le bioxyde naturel de Java dont nous avons les valeurs trouvées, à savoir :

$$a = 4,418 \pm 0,006 \quad \frac{c}{a} = 0,649 \pm 0,003$$

$$c = 2,87.$$

Nous pouvons remarquer que ces deux cas tranchent assez nettement avec les autres pour penser qu'il y a bien une légère différence dans la valeur des paramètres a et c . De toute manière, nous n'avons jamais retrouvé la valeur 4,44 indiquée par Wyckoff (2).

Enfin, dans la série des résultats précédents, nous n'avons pas mentionné pour l'instant le cas d'un échantillon très particulier. En effet, au cours d'un traitement d'un minerai naturel, nous avons séparé par décantation après lavage à l'eau une faible portion qui fut examinée à part. Or, cet échantillon nous a fourni un diagramme de système quadratique mais avec des constantes légèrement, mais nettement, différentes du minerai d'origine, à savoir :

$$a = 4,391 \pm 0,005 \quad \frac{c}{a} = 0,660 \pm 0,008$$

$$c = 2,90 \pm 0,04$$

ce que le minerai initial donnait :

$$a = 4,409 \pm 0,005 \quad \frac{c}{a} = 0,650 \pm 0,008.$$

La valeur 4,391 ainsi trouvée est en parfait accord avec celle du bioxyde issu du nitrate de manganèse.

Cet résultat doit évidemment être confirmé, mais en raison des difficultés expérimentales, nous n'avons pu encore renou-

veler cette séparation. Toutefois, nous avons voulu mentionner un tel résultat ici car, à priori, il nous paraît assez remarquable et peut, peut-être, nous laisser penser que les minerais naturels sont des mélanges de bioxydes à mailles légèrement différentes. Cette manière de voir nous est d'ailleurs suggérée par des variations de mailles que nous avons pu enregistrer lors de traitements particulièrement énergiques destinés à accroître les qualités dépolarisantes des bioxydes. Or, au cours de la formation naturelle des minerais, il est très concevable que précisément les cristaux aient pu être déformés au point de subir ces variations de maille.

Finalement, dans un minerai, nous ne faisons alors qu'enregistrer une sorte de valeur moyenne des paramètres.

Cependant, il est évident que les proportions des divers composants du mélange ne permettent pas de les différencier sur un même diagramme. On peut penser que généralement nous aurons un simple léger élargissement des anneaux caractéristiques ou même uniquement les anneaux correspondant à un seul des constituants.

C'est ainsi que, par exemple, nous avons voulu obtenir un diagramme en mélangeant en parties égales deux bioxydes qui donnaient, pris séparément, des diagrammes nettement différents quant à l'aspect général des anneaux. Or, le diagramme réalisé avec le mélange correspondait pratiquement au seul des échantillons qui initialement donnait les raies les plus nettes.

2) *Étude de l'intensité des raies.*

L'étude des paramètres a et c du réseau, si elle s'est révélée très profitable, nous a paru insuffisante cependant. En effet nous verrons, pour le cas des diagrammes du type (b), l'intérêt que peut présenter l'étude de l'intensité des anneaux. Par suite, dès maintenant nous donnerons, dans le cas des diagrammes du type (a), une étude complète de nos observations et de la confrontation avec la théorie.

Pour cela, nous avons calculé la formule générale donnant

facteur de structure d'un système de plans réticulaires caractérisés par les indices $(h\ k\ l)$.

On désigne par f_{Mn} et f_{O} les facteurs de diffusion de Mn^{+4} et O^{--} , la formule générale du facteur de structure F_{hkl} , dans le cas particulier de MnO_2 , et en supposant que les ions O^{--} et l'ion Mn^{+4} sont en ligne droite, est alors facilement calculable.

On obtient donc :

$$F_{hkl} = f_{\text{Mn}} [1 + \cos \pi (h + k + l)] + 2f_{\text{O}} [\cos 2\pi (h - k)u + \cos \pi (h + k + l) \cos 2\pi (h + k)u]$$

où u est le paramètre caractérisant la position des oxygènes dans la maille élémentaire.

Parmi les systèmes $h\ k\ l$ qui peuvent présenter un intérêt particulier, nous avons les systèmes (120) (002) (122) (131).

Le facteur de structure des systèmes (120) (131) (122) est indépendant du facteur de diffusion du manganèse, et par conséquent absolument indépendant de l'état réel d'ionisation dans lequel pourra se trouver éventuellement l'atome de manganèse dans le cristal. Ceci sera particulièrement intéressant pour le cas des bioxydes à pouvoir catalytique fortement accru.

Le facteur de structure du système (002) est d'autre part indépendant du paramètre u , donc il pourrait être utilisé peut-être pour avoir une idée de la nature des liaisons de Mn et O. En effet, étant indépendant de u , s'il y a variation de u , le facteur F_{002} restera identique à lui-même si f_{Mn} et f_{O} sont corrigés. Dans ces conditions, nous avons, en tenant compte de l'absorption de l'échantillon, pu comparer les intensités relatives des raies de Debye théoriques et expérimentales.

Pour faire cette confrontation, nous devons tout d'abord éliminer les causes d'erreur dues soit aux calculs théoriques, soit aux méthodes expérimentales d'évaluation. En particulier, étant donné que les diagrammes ont été obtenus avec un rayonnement du fer filtré et non en monochromatique, il est évident que pour certains anneaux nous avons une perturbation due à la présence des raies $K_{\alpha 1}$ et $K_{\alpha 2}$.

Du point de vue du calcul théorique des intensités, il faut noter que pour la raie K_{α} du fer nous sommes très proches de la discontinuité K du manganèse, et par suite le coefficient massique d'absorption de Mn est relativement mal déterminé. Nous l'avons estimé à 60 environ.

Nous avons tenu compte naturellement du diamètre du bâtonnet échantillon, et enfin de conditions de température de prise de diagramme. La température n'a pu varier que de 2 ou 3° C maximum entre les diverses poses, et par suite ce facteur est tout à fait négligeable.

Du point de vue de l'évaluation expérimentale, le microphotométrage a été effectué sur le microphotomètre de M. Vassier, que nous devons d'ailleurs remercier vivement à cette occasion. Nous avons évidemment dans ce cas des sources d'erreurs appréciables lorsqu'il faut évaluer l'aire des pics correspondant à chaque raie. Tenant compte de ces critiques, nous pouvons cependant affirmer que l'accord est excellent.

Il en résulte donc que les atomes d'oxygène sont bien caractérisés dans leur position dans la maille par le paramètre $u = 0,303 a$, admis actuellement.

En outre, les facteurs de diffusion que nous avons utilisés nous confirment bien que l'oxygène et le manganèse, pour ces échantillons, sont dans un état d'ionisation correspondant à O^{--} et Mn^{+4} .

Enfin, ces résultats tendraient à nous montrer que les échantillons fournissant les seules raies de MnO_2 du système quadratique sont des échantillons très proches ou même répondant exactement à la composition stœchiométrique. Toutefois, on doit bien noter la dispersion observée dans les valeurs des paramètres et peut-être plus particulièrement sur a . Sur c en effet, la dispersion est moins marquée et pourrait être éventuellement considérée comme se situant sensiblement dans le domaine des erreurs possibles. Cette dispersion nous semble pouvoir correspondre à un léger écart de la composition stœchiométrique, comme c'est le cas pour FeO signalé par J. Benard (12). Toutefois, ici il ne nous est pas possible, dans l'état actuel de nos études, de fixer le seuil

variation de a et c par rapport à la teneur en manganèse ou en oxygène total. Mais nous ne pouvions pas manquer rapprocher nos observations de celles de Benard.

Admettons maintenant que MnO_2 issu du nitrate soit le plus proche de la composition idéale. Ceci nous semble probable, car le pourcentage en Mn révélé par l'analyse est de 36,6, alors que le pourcentage théorique pour un échantillon représentant rigoureusement la formule MnO_2 serait de 36,2 % de Mn et 36,8 d'oxygène. Mais, quand on connaît la précision possible dans les dosages chimiques opérés sur ces composés, on peut admettre un accord très satisfaisant entre la valeur théorique et la valeur expérimentale.

Dans ces conditions, on peut penser évidemment que les paramètres de MnO_2 issu du nitrate, représentent les paramètres idéaux, à savoir :

$$a = 4,395 \quad c = 2,86 \quad \frac{c}{a} = 0,651.$$

Il en résulte une densité théorique de 5,22 avec un volume de 55,3 Å³ pour la maille.

Pour tous les autres échantillons qui titrent seulement environ en MnO_2 , le volume de la maille est pratiquement constant et égal à 56 Å³, ce qui donne une densité légèrement plus faible de 5,16. Il semble que le volume ait une tendance à un léger accroissement quand on s'écarte de la composition idéale et ce fait nous paraît intéressant à retenir pour l'avenir.

En effet, si nous admettons, ce qui semble logique, un empilage aussi compact que possible, l'accroissement du volume de la maille peut laisser penser qu'éventuellement il pourrait se créer des lacunes et aussi s'insérer des atomes ou ions dans la maille. Ces insertions pourraient amener, en particulier, des phénomènes de distorsion des plans réticulaires. Nous reviendrons sur ces points par la suite. Dans le cas qui nous intéresse ici, pour les bioxydes de Mn, que celui issu du nitrate, il est évident que la teneur en pureté est trop faible pour espérer en voir apparaître des anneaux. Par suite, conformément à l'expérience nous com-

prenons pourquoi nous obtenons le seul spectre quadratique de la pyrolusite.

Enfin, pour réaliser un examen complet de la structure des bioxydes, nous devons étudier la répartition des atomes de Mn et O dans la maille élémentaire. Pour cela, nous allons voir comment nous pourrions remplir au maximum l'espace avec les atomes de Mn et O.

Or, si nous reprenons la représentation classique de la maille élémentaire, nous avons un parallélépipède rectangle à base carrée. Aux 4 sommets du carré de base nous avons

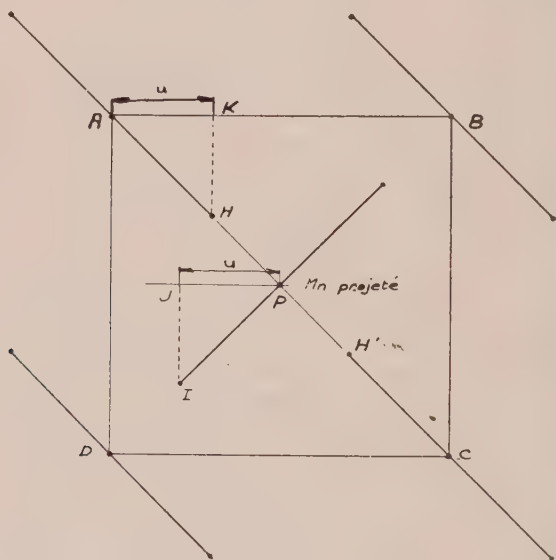


FIG. 1. — Projection de la maille de MnO_2 sur le plan (001).

4 atomes de Mn. Au centre de symétrie du parallélépipède nous avons un autre atome de manganèse de coordonnées $(\frac{1}{2}, \frac{1}{2}, \frac{1}{2})$.

Pour les oxygènes, il est bien connu que dans chaque base du prisme nous en avons 2 « attachés » à chaque Mn des sommets. Chaque groupe de 2 oxygènes et le manganèse ont leurs

res en ligne droite et la droite des centres est parallèle à la première diagonale du carré de base.

Le manganèse $(\frac{1}{2}, \frac{1}{2}, \frac{1}{2})$ et les 2 oxygènes ont aussi des centres en ligne droite et cette droite des centres est parallèle dans le plan de cote $\frac{1}{2}$ à la seconde diagonale du carré de base du prisme.

En projection sur le carré de base, il en résulte que la droite des centres des oxygènes de ce manganèse $(\frac{1}{2}, \frac{1}{2}, \frac{1}{2})$ est perpendiculaire à la direction de la ligne des centres des oxygènes « attachés » aux manganèse situés dans ce carré de base (voir fig. 1) et évidemment ce manganèse se projette au centre du carré de base.

Pour faciliter, nous appellerons Mn A les atomes de manganèse situés dans le carré de base en A ou C, et Mn P l'atome de manganèse situé au centre de symétrie de la maille élémentaire.

Les oxygènes correspondants seront ainsi appelés O-A et O-P respectivement.

L'étude de la distribution des intensités relatives des raies nous a confirmé, pour le paramètre u , la valeur 0,303 a . Nous trouvons alors en exemple le cas de MnO_2 du nitrate

$$u = 0,303 \ a = 1,332 \ \text{\AA}.$$

Ceci nous situe le centre de l'oxygène O A intérieur au carré de base en un point H tel que :

$$\text{A H} = u \sqrt{2} = 1,884 \ \text{\AA}.$$

Cette distance AH représente naturellement la distance des centres de ions Mn^{+4} et O^{--} .

L'oxygène attaché à Mn situé en C est évidemment situé à la même distance $\text{CH}' = 1,88 \ \text{\AA}$ également. Étant donné qu'il y a une symétrie par rapport à la diagonale BD du carré de base, il résulte que les 2 oxygènes centrés en H et H' doivent être équidistants au centre P du carré de base. Par suite, la distance

HH' représente la distance de ces 2 oxygènes, donc en fait le diamètre de l'ion O²⁻.

Un calcul simple montre que l'on a :

$$AC = a \sqrt{2} = 6,215 \text{ \AA}$$

et $HH' = 2,448 \text{ \AA}$

d'où l'on tire $r_{OA} = 1,224 \text{ \AA}$.

Or, la valeur donnée par Pauling (13) est 1,40 Å et celle de Goldschmidt (14), 1,32 Å, valeurs absolument incompatibles avec l'assemblage de MnO₂ si l'on assimile les ions à des sphères indéformables.

Dans la pyrolusite quadratique, nous savons que la coordination des ions Mn et O est respectivement 6 et 3. Ces coordinations fournissent alors la distance entre manganèse-oxygène égale à 1,88 Å. Mais, par contre, elles nous conduisent aux valeurs 2,662 et 2,448 pour les distances entre oxygènes. La valeur 2,662 est celle existant entre les oxygènes O_A et O_B et elle est compatible avec un rayon de l'ion O²⁻ égal à 1,33 Å, valeur tout à fait de l'ordre de grandeur classique. Par contre, la valeur 2,448 qui est celle existant entre les deux oxygènes O_A centrés en H et H', conduirait à un rayon O²⁻ de 1,224 Å.

Nous ne pouvons cependant modifier la valeur du paramètre *a*. Si nous admettions par exemple une valeur de 0,29 au lieu de 0,303, l'accord entre intensités observées et calculées par les anneaux de Debye serait tout à fait insuffisant, particulièrement pour les anneaux (220) et (444). Nous pouvons même dire que pour *a* la valeur de 0,31 donnée par Wyckoff est plus satisfaisante que 0,303, et ceci ne fait qu'accentuer encore la difficulté que nous signalons pour réaliser la structure complète de la pyrolusite.

Nous avons donc été conduit à envisager que l'ion oxygène ne peut plus être considéré comme sphérique, mais doit être fortement polarisé suivant la direction de la diagonale du carré de base. Le rapport de ses axes serait alors : 0,92. Considérons alors la distance AH de Mn—O = 1,88 Å, nous voyons

Ille est supérieure de $0,15 \text{ \AA}$ à la somme des rayons de Mn^{+4} et O^{--} . Cette distance étant conditionnée par la valeur r_0 , on doit donc penser à l'existence d'une lacune entre chaque ion O qui lui correspond.

En fait, la densité déterminée par le calcul en tenant compte des concentrations atomiques centésimales de Mn et O dans la maille élémentaire est supérieure de 10 % à la valeur déterminée par rayons X. Ceci nous semble bien confirmer l'existence de lacunes importantes.

Le point qui n'a jamais été relevé revêtira selon nous une importance toute particulière pour interpréter les propriétés optiques et dépolarisantes des bioxydes de manganèse.

CONCLUSION DE CE PREMIER MÉMOIRE.

Les mesures de paramètres, puis de l'étude des intensités d'anneaux de diffraction de la pyrolusite rigoureusement stœchiométrique, nous pouvons dès maintenant dégager les points essentiels suivants :

Il semble très difficile de fixer une valeur bien définie des paramètres a et c . Ces paramètres en effet semblent liés à la composition même de l'échantillon et à l'écart avec sa composition rigoureusement stœchiométrique. Toutefois, il semble que pour un bioxyde issu du nitrate par grillage vers 200° , les sommes soient proches de la composition stœchiométrique. Par conséquent, ce sont les paramètres déterminés sur cet échantillon qui doivent être les plus près des valeurs idéales.

L'assemblage des ions Mn^{+4} et O^{--} n'est pas compact. L'étude de la répartition des intensités des anneaux de diffraction nous a conduit à penser à un ion O^{--} fortement polarisé. Cette polarisation entraîne l'existence de lacunes dans les réseaux. Ces lacunes nous font penser elles-mêmes à la possibilité : de relâchement de liaisons chimiques entre manganèse et oxygène, de distorsions de réseau, d'insertions d'électrons, et même d'existence de « pièges » à électrons, selon les conceptions de Mott sur les réseaux lacunaires.

Ces particularités seront encore plus marquées, comme

nous le verrons, sur les bioxydes traités spécialement en vue d'accroître leurs propriétés catalytiques et dépolarisantes. Elles suggèrent évidemment des vues toutes nouvelles sur le mécanisme même de ces phénomènes jusqu'ici expliqués d'une manière très insuffisante comme nous l'avons relevé déjà (15) (16).

BIBLIOGRAPHIE

1. FERRARI. — *Atti Accad. Lincei* (6), 3, 224-30, (1926).
 2. WYCKOFF. — *Crystal Structures*. Intersciences Publishers Ltd section 1, London, 1948.
 3. STRUNG. — *The Pyrolusite Problem Naturwissenschaften*, 31, p. 89-92, 1943.
 4. B. H. F. MC MURDIE, E. GOLOVATO. — Study of the modification of manganese dioxide. *Research Paper*, vol. 41, déc. 1948, p. 589. (Part of the Journal of Research of the National Bureau of Standards.)
 5. A. ST. JOHN. — The Crystal Structure of Manganese dioxide. *Phy. Rev.*, 21, 389, 1923.
 6. DUBOIS. — *Ann. de Chimie*, 5, 411, 1936.
 7. L. S. RAMSDELL. — *Am. Mineral.*, 27, 611, 1942.
 8. GLEMSER. — *Ber. Deutsch. Chem. Ges. (B)*, 72, 1879, 1939.
 9. MC MURDIE. — *Trans. Electrochem. Soc.*, 86, 313, 1944.
 10. FEITKNECHT et MARTI. — *Helvetica Acta*, vol. 28, 129, 1945.
 11. GRUNER. — *Am. Mineral.*, 32, 654, 1947.
 12. J. BENARD. — Colloque sur les réactions dans l'état solide. *C. N. R. S.*, 1949.
 13. PAULING. — *J. Am. Chem. Soc.*, 49, 1927, p. 765.
 14. GOLDSCHMIDT. — *Ber.*, 60, 1927, 1263.
 15. J. BRENET, A. HERAUD. — *Comptes Rendus Ac. Sc.*, t. 230, p. 1598-1600, 1950.
 16. J. BRENET. — *C. R. Ac. Sc.*, t. 231, p. 543, 1950.
-

SÉRIE D'ABAQUES PERMETTANT LA DÉTERMINATION RAPIDE DES FELDSPATHS MACLÉS ALBITE

PAR PIERRE LAFFITTE,

Ingénieur au Corps des Mines,
Laboratoire de Minéralogie de l'École Nationale Supérieure
des Mines de Paris.

Sommaire. — Après un bref rappel de la méthode de Nieuwenkamp pour la détermination optique des feldspaths macclés, l'auteur montre que dans le cas des feldspaths macclés albite, la détermination peut être faite très rapide.

On mesure les angles d'extinction des lamelles macclées et le rapport de leur biréfringence. Une série d'abaques permet de déduire immédiatement de ces 3 grandeurs la teneur en anorthite. Ces abaques ont été construits à partir des données optiques de M. Nieuwenkamp et de Duparc et Reinhardt.

La méthode de détermination des feldspaths calcosodiques fait l'objet de cette publication est déduite de la méthode de M. Nieuwenkamp, professeur à l'Université d'Utrecht et publiée récemment (*Spectrum publishers*, Bruxelles, Utrecht, New-York).

Appelons brièvement le principe de cette méthode :
Les grandeurs (angles d'extinction, biréfringence, etc...) que l'on peut mesurer sur une section d'un plagioclase de faible épaisseur, dépendent non seulement de la teneur en anorthite du feldspath (1 paramètre), mais aussi de l'orientation du plan de la section par rapport aux directions cristallographiques (2 paramètres).

Nous avons ainsi 3 paramètres que nous appellerons :

$$x, \lambda, \varphi.$$

Considérons un feldspath macclé albite, et soient 1 et 2, les lamelles hémitropes.

Nous mesurons les trois grandeurs suivantes :

- a_1 = angle d'extinction de la lamelle 1,
- a_2 = angle d'extinction de la lamelle 2,
- K = grandeur liée au rapport des biréfringences des lamelles 1 et 2.

$$K = 100 \log \frac{n'_{g_1} - n'_{p_1}}{n'_{g_2} - n'_{p_2}}.$$

Cette dernière grandeur K a l'avantage d'éliminer l'inconnue supplémentaire (épaisseur de la plaque) qu'introduirait une simple mesure de biréfringence.

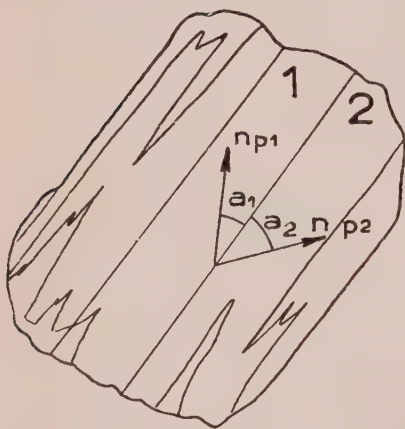


FIG. 1. — Les angles d'extinction a_1 et a_2 sont les angles que forment les directions d'extinction n_p des lamelles 1 et 2 avec la trace g du plan de macle.

La détermination à partir de ces données s'effectue à l'aide des stéréogrammes construits par M. Nieuwenkamp. Analogues aux épures de Michel Lévy, ces stéréogrammes représentent en projection les propriétés optiques des feldspaths de compositions connues (feldspath à 0 % An, 10 % An, 20 % An, etc...).

Les données optiques sont celles de Nikitin (Die Fedorow Methode, Berlin, 1936). Sur les stéréogrammes sont tracées les courbes d'égale extinction en noir, et en rouge des courbes graduées en $\log (n_g - n_p)$.

Exemple de détermination :

Soit $a_1 = -15^\circ$ (lamelle la plus biréfringente),
 $a_2 = 20^\circ$,
 $K = 20$,
 lamelles maclées albite.

s'agit de trouver deux points M_1 et M_2 sur l'un des stéréogrammes tels que :

- ° $M_1 M_2$ soit une parallèle à l'axe des abscisses,
- ° la distance $M_1 M_2$ soit de 18 cm.,
- ° M_1 soit sur la courbe noire $- 15^\circ$ (ou $+ 15^\circ$),
- ° M_2 soit sur la courbe noire $+ 20^\circ$ (ou $- 20^\circ$),
- ° Les graduations en $\log (n_g - n_p)$ (rouge) pour M_1 et M_2 soient différent de $+ 20$.

La détermination est assez longue et dans le cas de spaths maclés albite, nous proposons une méthode différente.

Les grandeurs a_1, a_2, K peuvent s'écrire sous la forme :

$$a_1 = f_1(\lambda, \varphi, x)$$

$$a_2 = f_2(\lambda, \varphi, x)$$

$$K = f_3(\lambda, \varphi, x).$$

Le système d'équation définit en général les fonctions implicites :

$$\lambda = F_1(a_1, a_2, K)$$

$$\varphi = F_2(a_1, a_2, K)$$

$$x = F_3(a_1, a_2, K).$$

La dernière seule, que nous pouvons prendre sous la forme :

$$F(a_1, a_2, K, x) = 0$$

nous intéresse puisque c'est elle qui détermine le pourcentage orthite.

Nous pouvons considérer cette équation comme définissant une famille de courbes dans le plan des coordonnées a_1, a_2 , les courbes dépendront des deux paramètres K et x %. Si nous fixons le paramètre K , nous aurons donc une famille de courbes dépendant de x %. Pour chaque pourcentage en anorthite il existera une courbe dans le plan des coordonnées a_1

partir des données de M. Nieuwenkamp, et des épures de Duparc et Reinhardt (Mémoires de la Société de Physique

et d'Histoire Naturelle de Genève, 1924), nous avons construit des abaques pour différentes valeurs de K (5, 10, 15, 20, 25, 30, 40).

Sur chaque abaque, nous avons tracé les courbes lieux de points de coordonnées a_1 et a_2 pour les valeurs de x correspondant à :

0 % An ; 10 % An ; 13 % An ; 25 % An ; 30 % An ; 40 % An ; 50 % An ; 60 % An ; 70 % An ; 80 % An ; 95 % An.

L'angle d'extinction de la lamelle *la plus biréfringente* a été porté en abscisse. L'angle d'extinction de la lamelle *moins biréfringente* en ordonnée.

Ces abaques permettent la détermination immédiate du feldspath à partir des valeurs a_1 , a_2 , K . D'autre part la précision correspondant à un ensemble de mesures est mise en évidence de façon très claire.

Nous avons éliminé dans la construction des courbes les sections très inclinées sur le plan de macle (inclinaison supérieure à 65°) et celles de biréfringence trop faible (voisine des axes optiques).

MARCHE DE LA DÉTERMINATION D'UN PLAGIOCLASE.

Détermination de K .

1) A l'aide du compensateur Berek.

Lamelle 1 = la compensation est faite pour les graduations a_1 et b_1 du compensateur.

Lamelle 2 = la compensation est faite pour les graduations a_2 et b_2 du compensateur.

$$K = 200 \log \frac{a_1 - b_1}{a_2 - b_2}.$$

L'abaque 1 permet de trouver K à partir des coordonnées $(a_1 - b_1)$ et $(a_2 - b_2)$.

Cette mesure ne convient, comme on peut facilement s'en rendre compte, que si les retards sont assez importants.

l'utilisation d'autres compensateurs plus précis permettra améliorer la méthode.

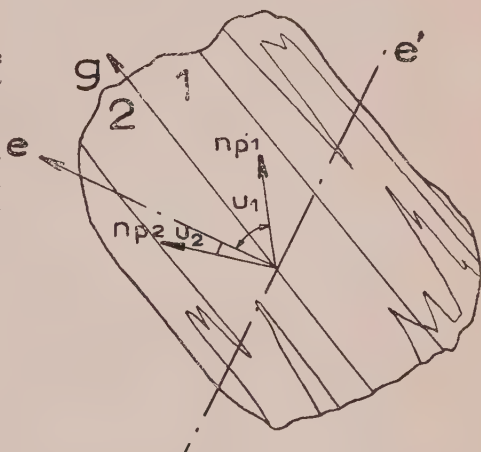
Aide de la position d'éclairement commun et du retard.

Évaluation du retard optique.

Sur le tableau 2 nous avons indiqué pour différents retards à 300 $\mu\mu$ les teintes de polarisation entre nicols croisés, quart d'onde, avec teinte sensible et entre nicols parallèles.

Avec un peu d'habitude ces teintes permettent d'apprécier les retards avec une précision suffisante (30 $\mu\mu$). Le compensateur Berek donne évidemment une précision supérieure.

2. — Les angles u_1 et u_2 et les angles que forment les directions d'extinction des lamelles 1 et 2 avec la direction d'éclairement commun e . Si l'on prend la direction d'éclairement commun e' à 90° de e , nous avons les angles $\frac{\pi}{2} - u_1$ et $\frac{\pi}{2} - u_2$. Dans la suite nous appelons u_1 et u_2 les angles inférieurs à 45° des directions n_p avec e ou e' .



Soit r le retard ainsi apprécié ou mesuré pour la lamelle la plus biréfringente.

Position d'éclairement commun.

Soit u_1 l'angle entre la direction e du plan de polarisation commun et la direction d'extinction n_{p1} de la lamelle 1, u_2 l'angle de e avec la direction d'extinction de la lamelle 2. Si nous appelons I_1 et I_2 les intensités lumineuses

transmises pour la longueur d'onde λ par les lamelles 1 et 2 à la position e , nous avons :

$$I_1 = \sin^2 2 u_1 \sin^2 \frac{\pi}{\lambda} r_1 = \sin^2 2 u_2 \sin^2 \frac{\pi}{\lambda} r_2 = I_2$$

$$\log \sin 2 u_1 - \log \sin 2 u_2 = \log \sin \frac{\pi}{\lambda} r_2 - \log \sin \frac{\pi}{\lambda} r_1.$$

(Nous supposons que la lamelle 2 est la plus biréfringente donc r_2 est le retard r que nous avons apprécié en a).

D'après la définition de K, puisque l'épaisseur de la plaque est la même pour les deux lamelles :

$$K = 100 \log \frac{r_2}{r_1}.$$

Nous avons tracé pour la longueur d'onde λ_D du sodium (tableau 2) les courbes correspondant à certaines valeurs de K dans le système de coordonnées suivant :

Ordonnées : $y = \log \sin 2 u_1 - \log \sin 2 u_2$.

Abscisses : $r = r_2$, retard de la lamelle la plus biréfringente.

Les courbes $y(r)$ sont définies par la formule :

$$y = \log \sin \left(\frac{\pi}{\lambda_D} r \right) - \log \left[\sin \left(\frac{\pi}{\lambda_D} 10^{-\frac{K}{100}} r \right) \right].$$

Pour obtenir la valeur de K correspondant à un point M de coordonnées r et y il suffit d'interpolier entre les valeurs correspondant aux courbes tracées qui passent au-dessus et au-dessous de M. La valeur $y = \log \sin 2 u_1 - \log \sin 2 u_2$ portée en ordonnée est obtenue directement à partir de u_1 et u_2 au moyen d'une échelle logarithmique des sinus ($2u$), l'échelle E donnée en annexe (que l'on peut trouver aussi dans le livre de M. Nieuwenkamp). Il n'est pas nécessaire d'opérer en lumière monochromatique. Etant donnée la précision recherchée pour K, l'éclairement commun en lumière blanche correspond à peu près à l'éclairement commun pour λ_D .

MESURES.

ous notons les directions suivantes :

	Mesure
ction n_{p_1} dans la lamelle 1.....	n_1
ction n_{p_2} dans la lamelle 2.....	n_2
de macle et clivage (010).....	g
tion d'éclairement commun.....	e

si nous déterminons K à l'aide d'un compensateur).

ous apprécions aussi le retard de la lamelle la plus biré-

ous déduirons les angles $a_1 = n_1 - g$; $a_2 = n_2 - g$ et
angles $u_1 = n_1 - e$ et $u_2 = n_2 - e$.

Un des angles u_1 ou u_2
supérieur à 45° nous
donnerons son complément.

détermination de K
se faire de la façon
sente :

emple : retard 200μ ,

$$u_1 = 30^\circ.$$

$$u_2 = 21^\circ.$$

ous amenons l'échelle E
la verticale $r = 200$ et
la faisons coulisser de
que la graduation 30°
échelle soit sur l'axe
 r . La graduation 21°
échelle est alors sur
courbe $K = 15$. Donc
 $K = 15$.

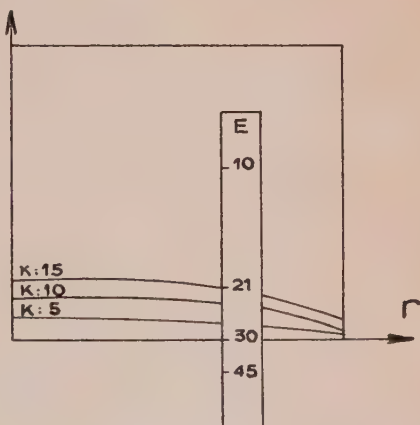


FIG. 3. — La valeur de K s'obtient à l'aide du tableau 2 de la façon suivante : l'échelle E est placée parallèlement à Oy , à l'abscisse r retard optique de la lamelle la plus biréfringente. La graduation u_1 est amenée sur l'axe Or , la graduation u_2 donne la valeur de K par interpolation entre les courbes $K = \text{constante}$ qui passent au-dessus et au-dessous de u_2 . Dans l'exemple $u_1 = 30$, $u_2 = 21$, $K = 15$.

Disposition des mesures.

n_1	g	n_2
$a_1 = n_1 - g$	K	$a_2 = n_2 - g$
$u_1 = n_1 - e$	e	$u_2 = n_2 - e$

Retard

Nous entourons d'un ovale ou nous soulignons toutes les mesures ou angles se rapportant à la lamelle la plus biréfringente (c'est la lamelle pour laquelle l'angle u est le plus petit).

DÉTERMINATION

Nous avons donc les 3 quantités :

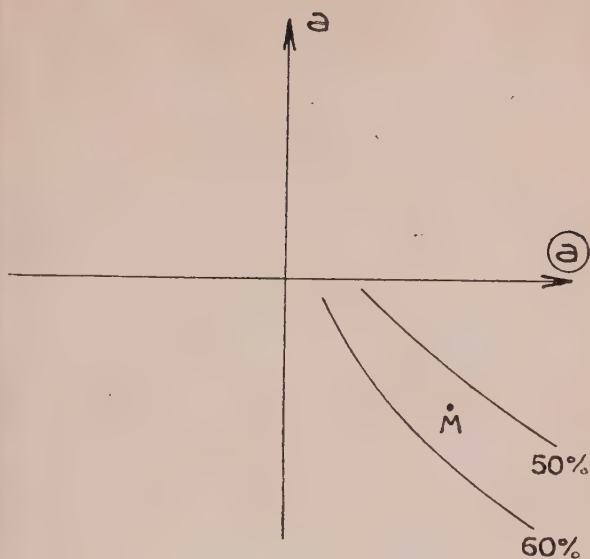
$$K, a_1, a_2.$$

1° K est une des valeurs pour lesquelles les abaques ont été construits. Considérons l'abaque correspondant à cette valeur de K . Nous portons la valeur soulignée a en abscisse et l'autre angle d'extinction en ordonnée ; ceci nous donne un point M . Le pourcentage en anorthite du feldspath est obtenu par interpolation entre les courbes qui entourent M . Dans l'exemple de notre figure $x = 54 \%$.

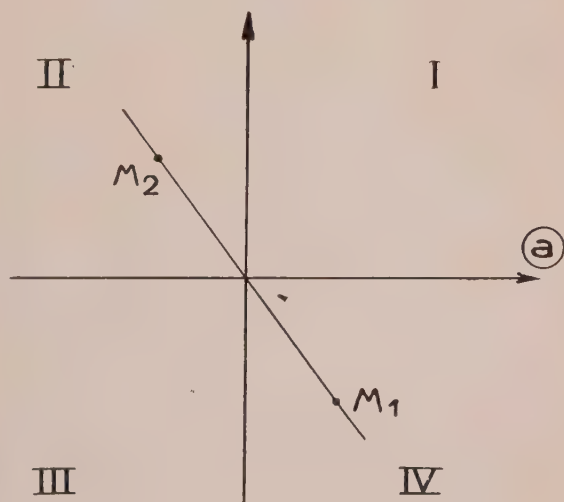
2° Si K n'est pas une valeur pour lesquelles les abaques ont été construits, par exemple $K = 22$, et nous calculons a pour $K = 20$ et pour $K = 25$ et nous interpolons.

Remarque 1.

Nous ne connaissons pas le signe des angles d'extinction a_1 et a_2 , mais nous savons s'ils sont de même signe ou non, donc si M se trouve dans les quadrants I-III ou II-IV.



— Le point M de coordonnées (a) , a permet par simple lecture de déterminer la teneur en anorthite. Dans notre figure $x = 54\%$ An.



— Nous ne connaissons pas le signe de (a) et a . Nous devons donc considérer les points M_1 et M_2 symétriques par rapport à l'origine des données.

Nous devons donc considérer deux points M.

M_1 correspondant à $a_1; a_2$,

M_2 correspondant à $-a_1; -a_2$.

La région du quadrant IV, définie par $0 < (a) < 25$, correspond à des plans de macles presque perpendiculaires à la lame mince (angle supérieur à 60°). Une ligne de séparation des lamelles fines permettra donc de choisir le point M_1 .

Remarque 2.

Il importe de bien se rendre compte de la façon dont les courbes $x = \text{constante}$, se déforment quand x prend différentes valeurs.

Nous donnons ci-contre l'allure schématisée de cette déformation.

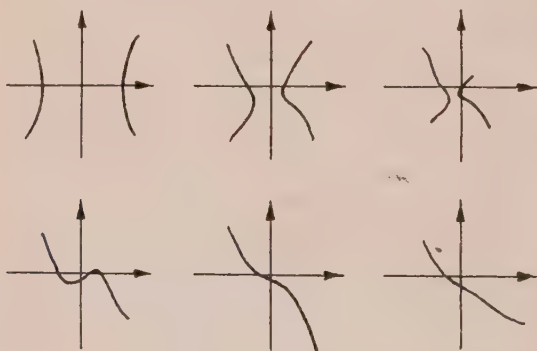


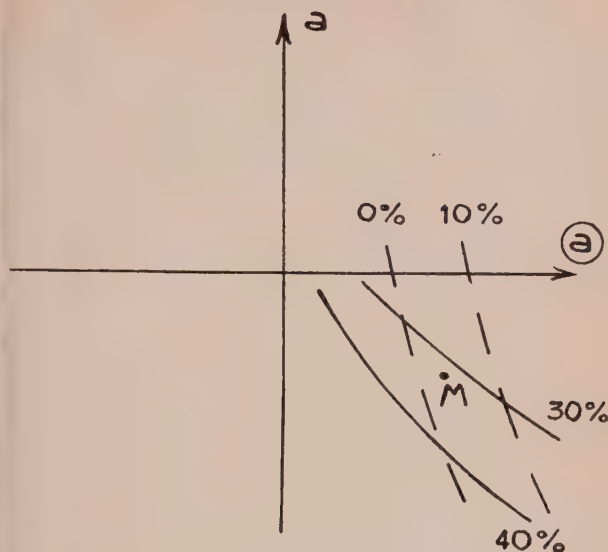
FIG. 6. — La déformation des courbes $x = \text{constante}$, pour une valeur donnée de K, peut être schématisée comme ci-dessus.

Remarque 3.

Par un point M, dans certaines régions du plan (a) a peut passer plusieurs courbes ou aucune.

Aussi dans notre schéma par le point M passeront les courbes $x = 4\%$ et 32% . Dans ce cas la mesure de l'indice (liséré de Béké) permet de lever l'indétermination.

ans d'autres cas, il convient de faire une nouvelle mesure
une autre section.



— A un point M peuvent correspondre plusieurs courbes dans
exemple ci-dessus, au point M correspondent les courbes 32 % An et
An.

Remarque 4.

Les courbes correspondant à $x = 20\%$ n'existent pas. En
pour cette teneur, les sections pour lesquelles $K > 5$
trop proches des axes optiques.

EXEMPLE DE DÉTERMINATION.

285	$g = 241$	252
$a_1 = 44$	$K = 22$	$a_2 = 11$
$u_1 = 54 \rightarrow 36$	$e = 231$	$u_2 = 21$

Hard = blanc ; + quart d'onde : jaune,

— teinte sensible : jaune clair $\rightarrow 220 \mu\mu$.

Sur l'abaque $K = 20 : M_1 \left\{ \begin{array}{l} a_2 = -11 \rightarrow x = 69\% \\ a_1 = -44 \end{array} \right.$

pour $M_2 \left\{ \begin{array}{l} a_2 = +11 \\ a_1 = +44 \end{array} \right. M_2 \text{ n'est pas dans les courbes.}$

Sur l'abaque $K = 25 \rightarrow x = 63\%$

Donc $x = 65\% \text{ An}$

PRÉCISION ET SENSIBILITÉ DE LA MÉTHODE.

1) Mesures.

La mesure la plus délicate est celle de K . Des compensateurs très sensibles permettraient une mesure de K rapide et précise. La méthode par la position d'éclairement commun peut donner une précision de l'ordre de 3 sur K .

L'erreur sur $x\% \text{ An}$ produite par une erreur sur K se voit immédiatement en comparant les valeurs x données par K , $K + 5$ et $K - 5$.

La mesure des angles d'extinction ne donne pas lieu à difficulté.

2) Abaques.

Un simple coup d'œil sur les abaques montre que dans certains domaines du plan a_1, a_2 , la précision sera très grande pour les valeurs de K de 10 à 25; en particulier les régions $10 < a < 25$; — $40 < a < 0$ donnent une précision si grande que l'on serait tenté de donner des résultats avec une précision de 1% An. Mais il ne faut pas oublier que pour beaucoup de raisons (présence d'éléments autres que Na et Ca par exemple) la composition exacte du feldspath ne peut être définie avec une telle précision par des mesures optiques.

Dans d'autres domaines, correspondant à d'autres sections, la précision est beaucoup moins grande.

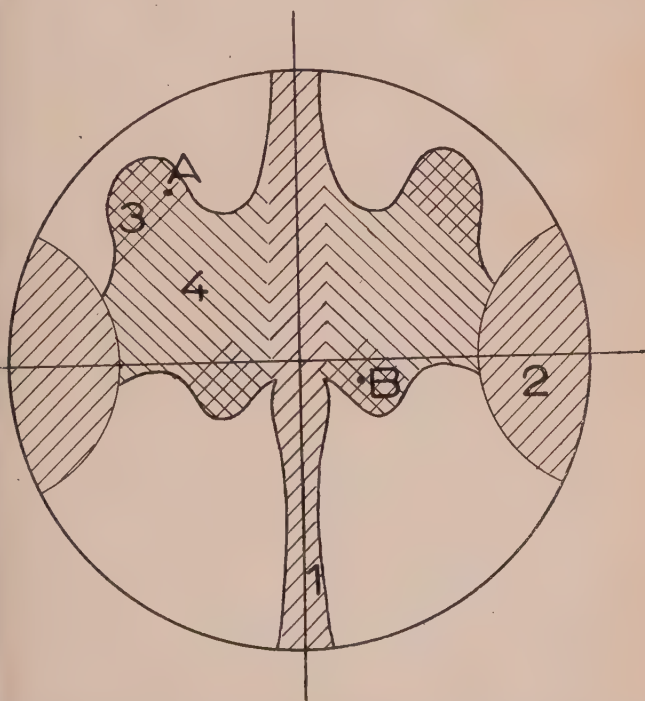
SECTIONS QUI DONNENT DE BONS RÉSULTATS.

Considérons une épure de Michel Lévy. Nous pouvons, sur cette épure, éliminer un certain nombre de sections qui ne conviennent pas dans notre méthode :

1. Sections trop proches de la zone de symétrie $K < 5$.

2. Sections trop inclinées sur le plan de macle (voisines de 90°).

3. Nous avons limité à 65° dans nos abaques l'inclinaison sur le plan de macle.



— Sur une épure de Michel Lévy (50 % An) nous avons hachuré les régions correspondant aux pôles de sections qui ne conviennent pas.

1. — Sections trop proches de la zone de symétrie.
2. — Sections trop proches du plan de macle.
3. — Sections trop proches des axes optiques.
4. — Sections correspondant à des régions du plan (a), a où les courbes constante s'enchevêtrent.

3° Sections trop proches des axes optiques, elles correspondent à de trop grandes valeurs de K .

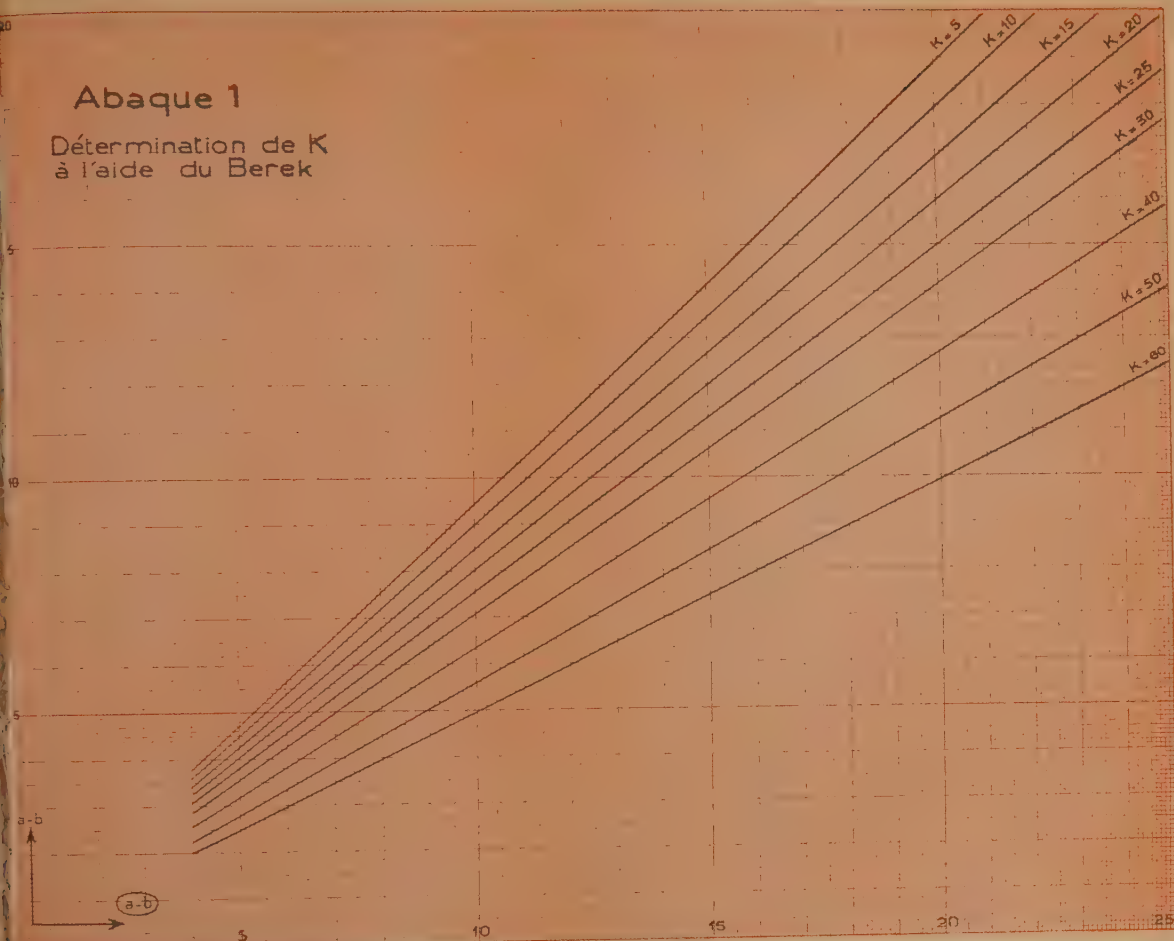
4° Sections qui correspondent à des zones du plan a_1, a_2 et les courbes s'enchevêtrent.

Toutes les sections qui restent (environ 50 % pour le feldspath à 50 % An) conviennent.

La méthode n'est donc pas une méthode universelle, mais elle permet presque toujours d'arriver à une détermination rapide.

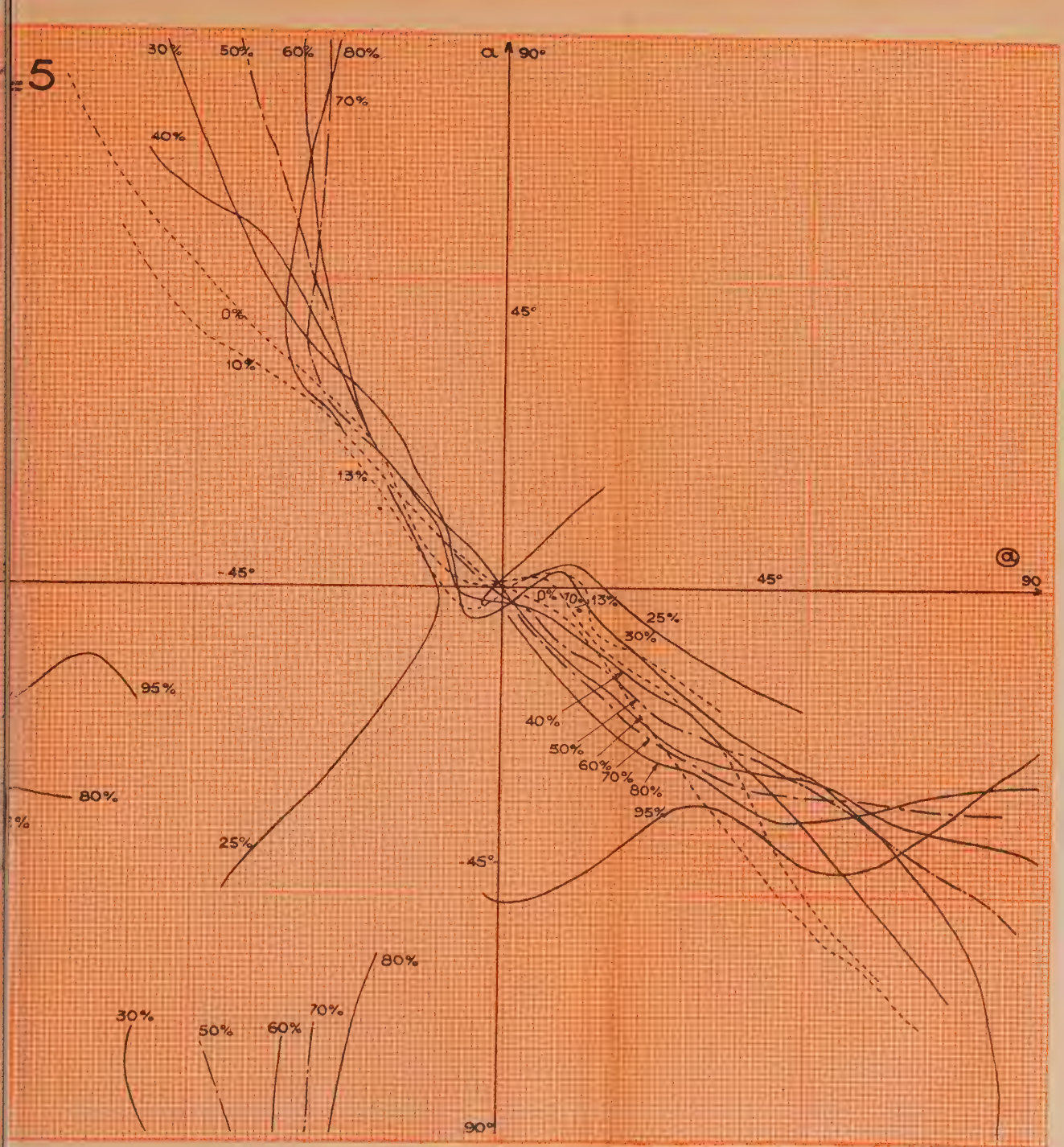
Abaque 1

Détermination de K
à l'aide du Berek



TABLÉAU 1. — Détermination de K à l'aide du compensateur Berek.

On porte en abscisse la différence $a - b$ des graduations a et b du tambour qui donnent la compensation pour la lamelle la plus biréfringente et en ordonnée la différence $a - b$



=10

0% 10% 40% 30% 50% 70% 80%
60%

α 90°

45°

-45°

45°

α 90°

30% 25%

13 1/2%

10%

0%

10%

50%

60%

70%

80%

95%

25%

80%

30%

80%

-45°

95%

70%

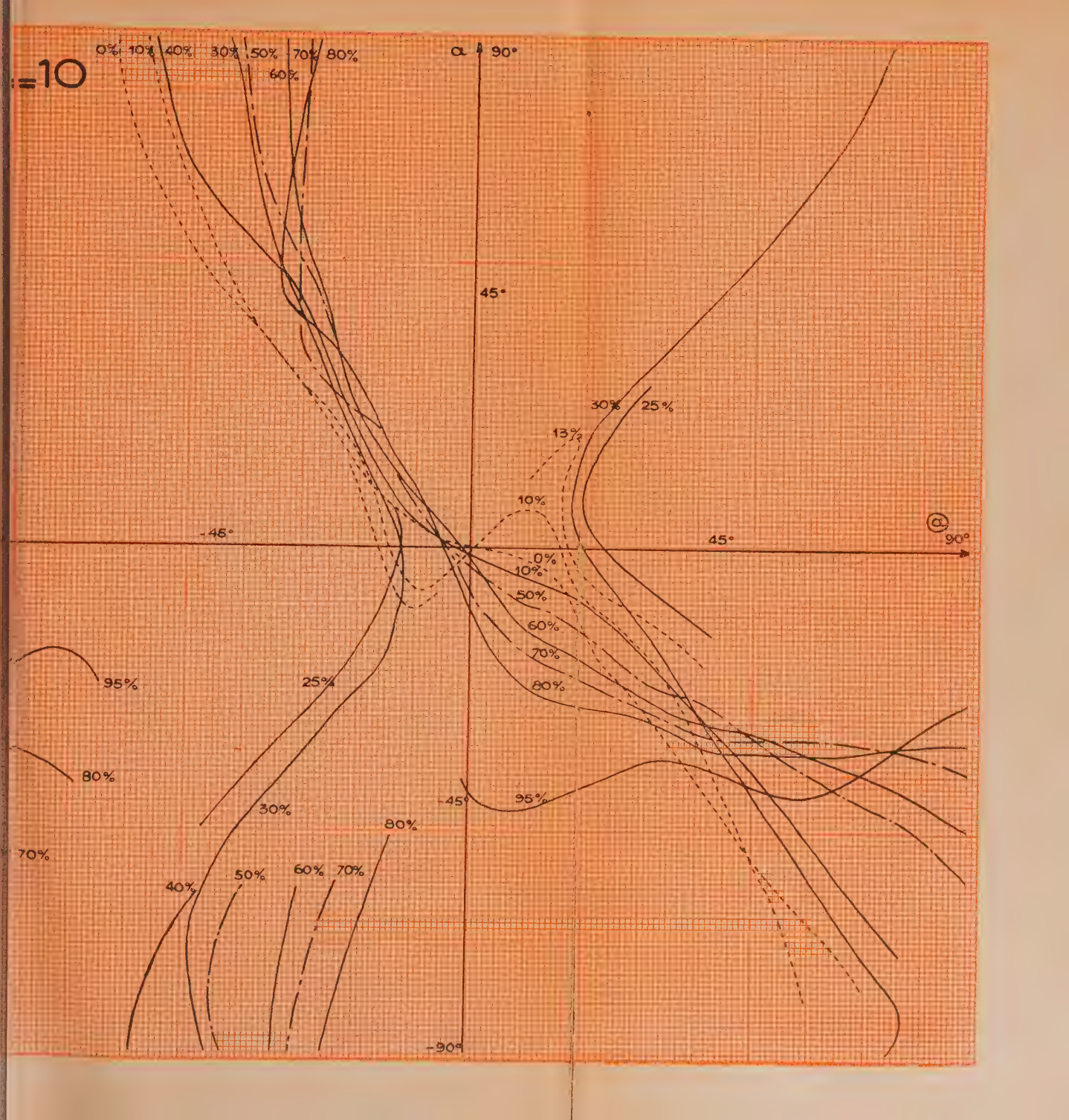
40%

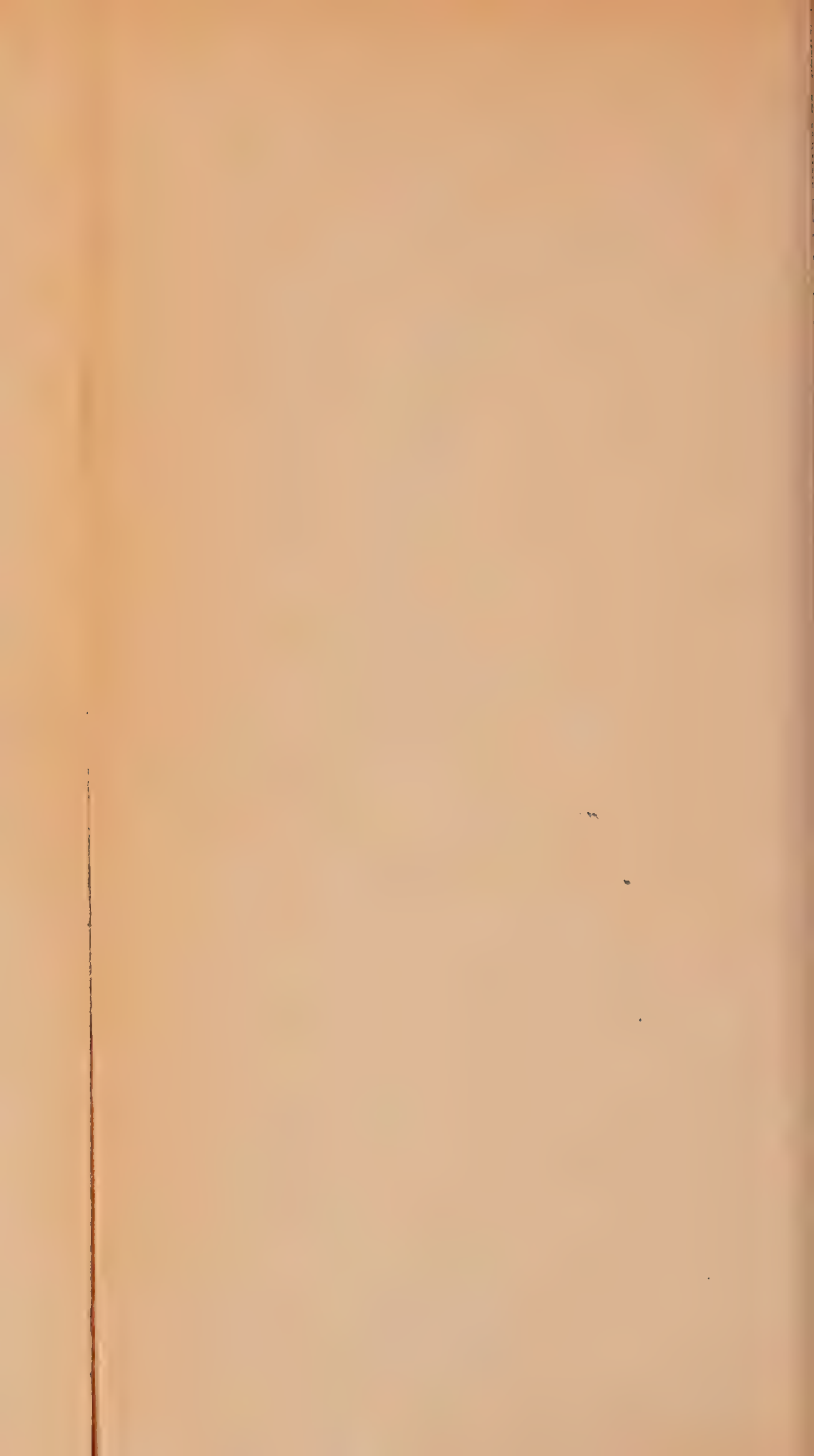
50%

60%

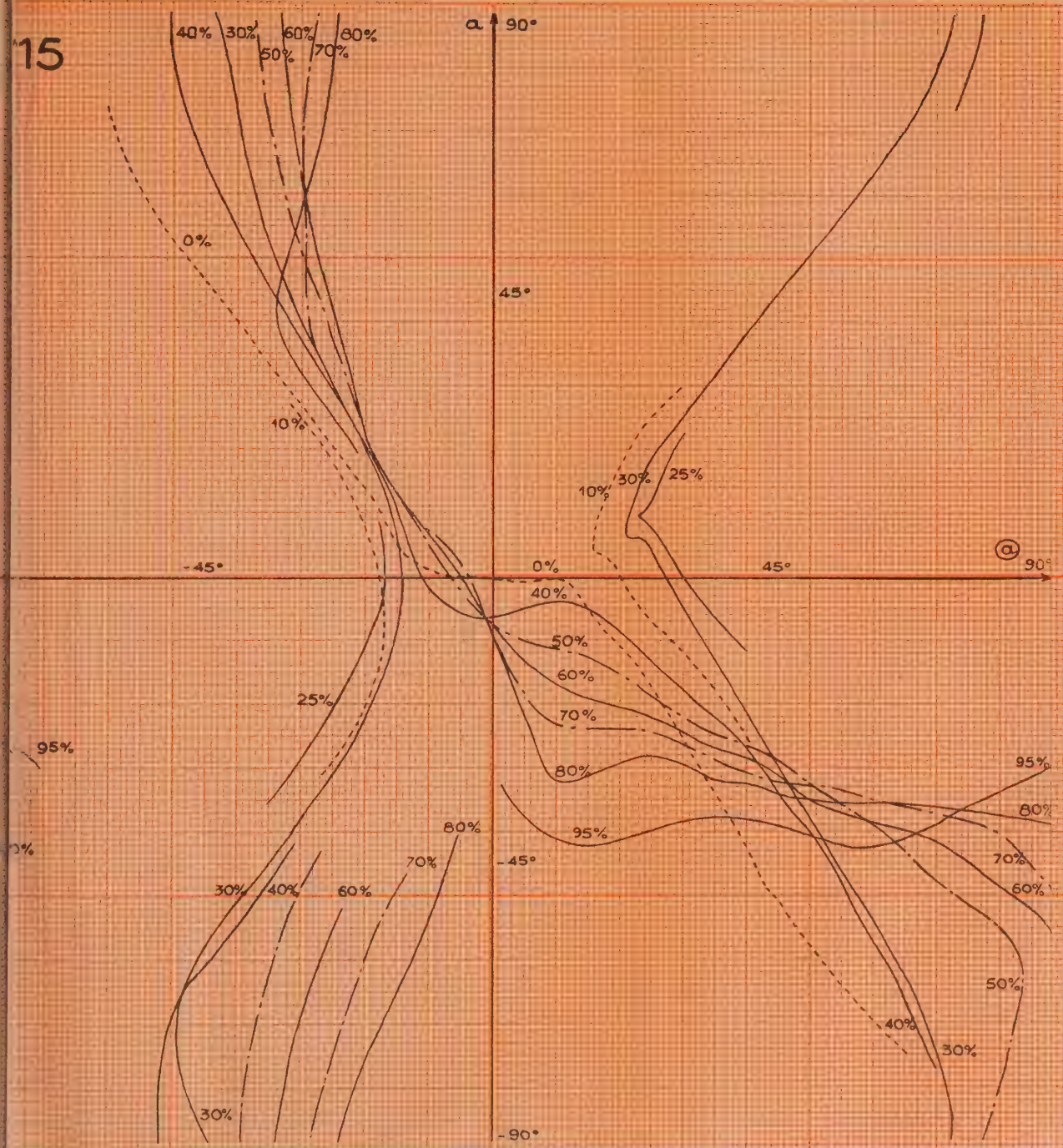
70%

-90°

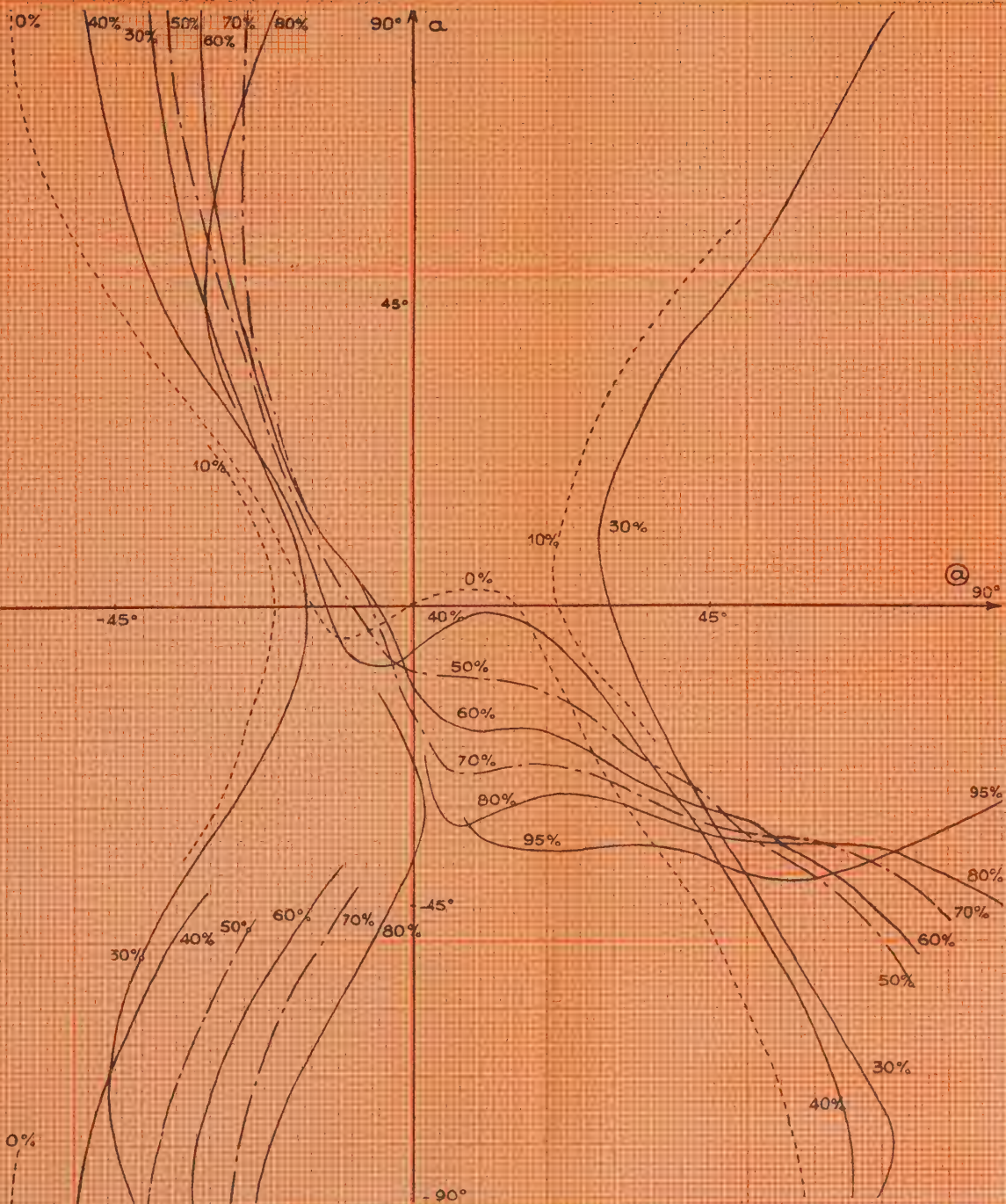


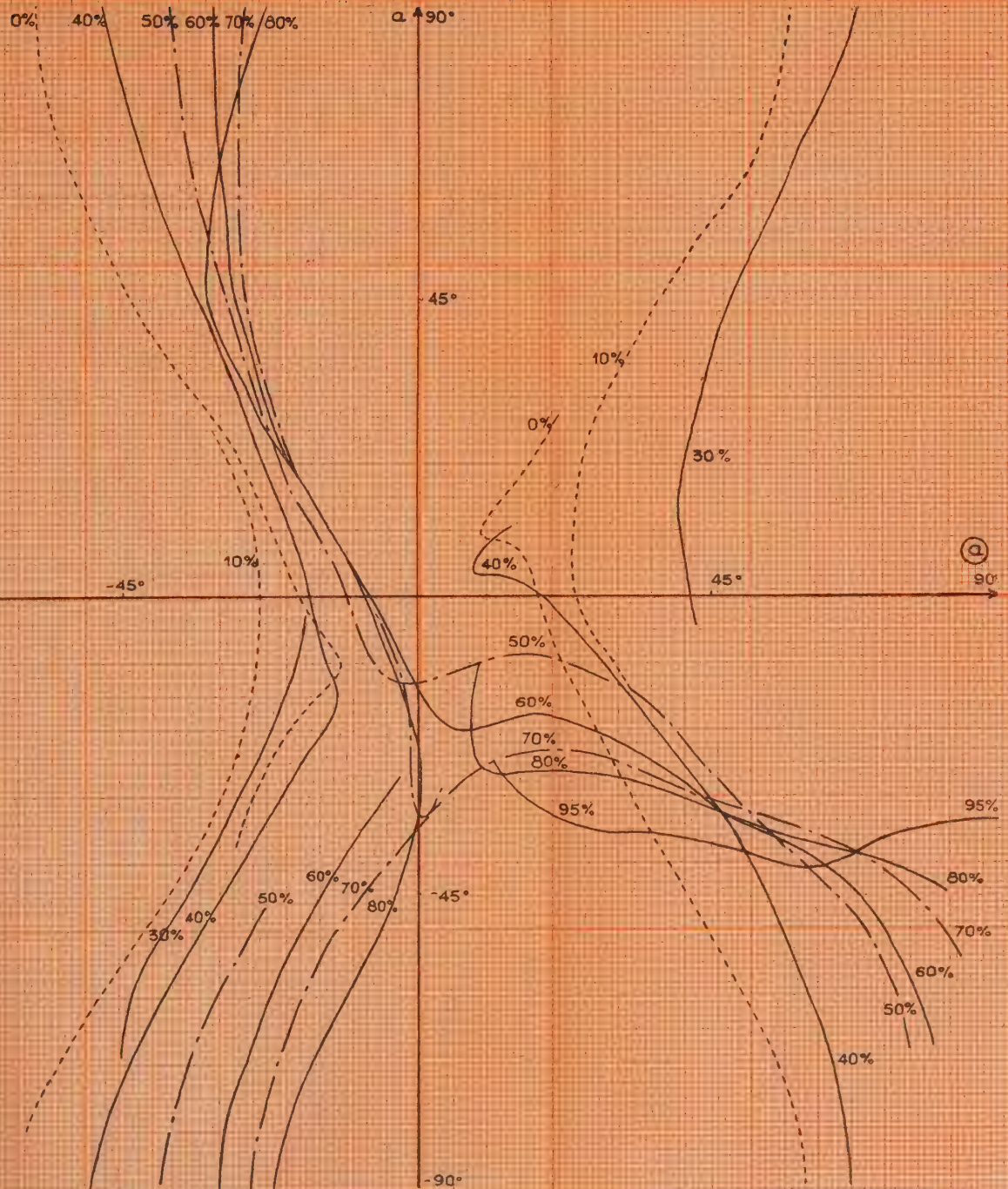


15



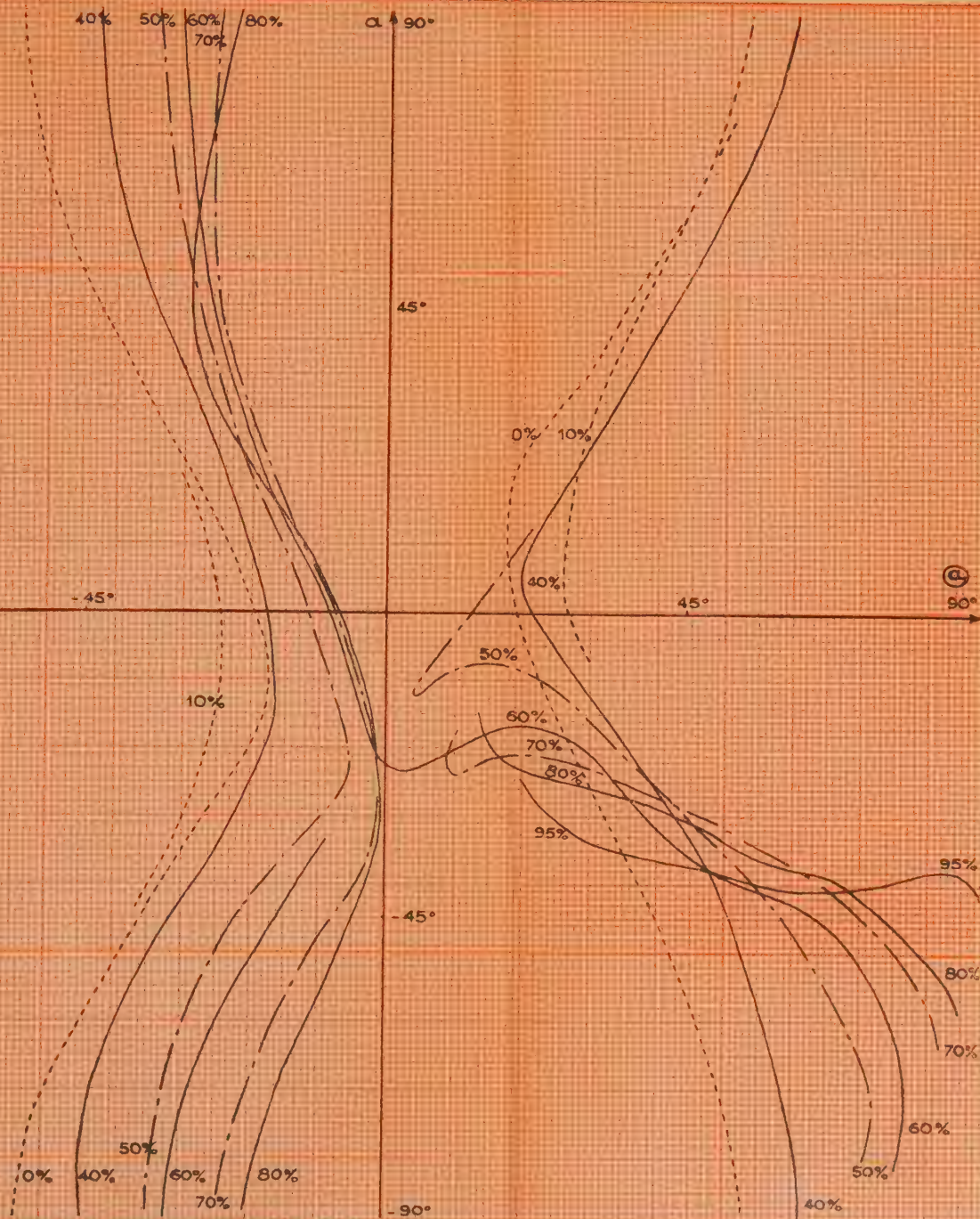
20





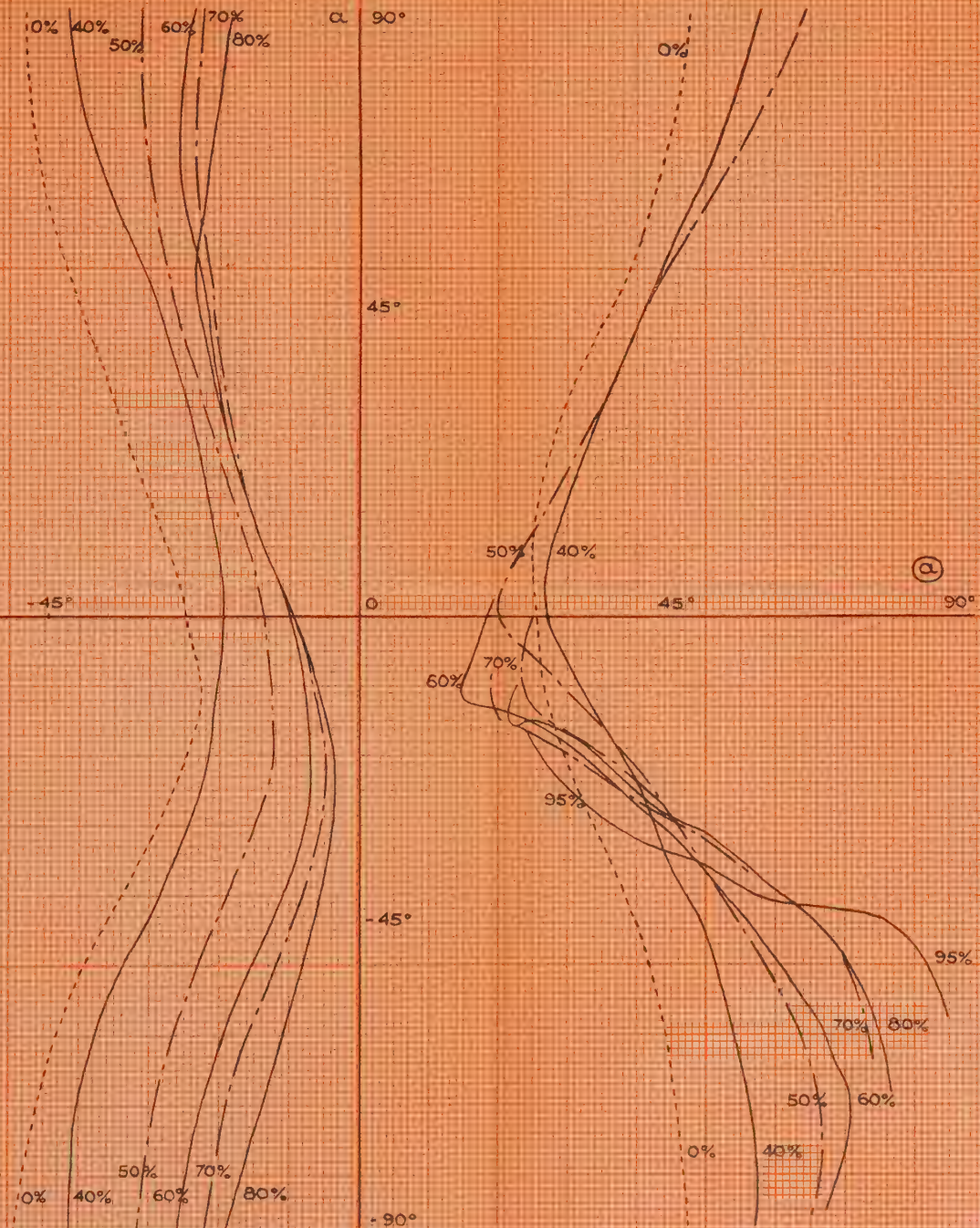


=30





40



PAR ÉCRASEMENT DE FRAGMENTS MINÉRAUX POUR LA MISE EN ÉVIDENCE D'INCLUSIONS DE GAZ SOUS PRESSION

PAR G. DEICHA,

Laboratoire de Géologie structurale et appliquée
de la Faculté des Sciences de Paris.

Résumé. — Cette méthode rapide qui permet de constater la présence de gaz sous pression dans les minéraux est présentée sous la forme la plus simple. Elle peut donner des renseignements essentiels sur la détermination des conditions de genèse, et s'impose donc dans l'étude des gangues de minerais filoniens. Dans le cas de veines de minéraux stériles, de tels essais donneront une indication sur la possibilité d'intervention de veines pneumatolytiques ou d'actions hydrothermales. Les applications pétrographiques sont plus nombreuses, mais les roches meubles s'y prêtent bien. Cette technique permet de familiariser le minéralogiste et surtout le géologue, avec la possibilité de l'intervention des fluides géochimiques profonds dans les métamorphoses et recristallisations minérales.

Malgré de techniques simples et rapides la présence de gaz sous pression dans les minéraux passe trop souvent inaperçue. Dans le cas classique où des inclusions d'anhydride carbonique liquide, à libelles mobiles (1), pourraient être reconnues par simple observation microscopique à un grossissement modéré, cet examen n'est que rarement poussé avec la rigueur indispensable : ce sont en effet les inclusions secondaires, souvent secondaires, mais en très grand nombre, qui attirent immédiatement l'attention de l'observateur. Ces inclusions récentes masquent les témoins fluides plus anciens, et la recherche de ceux-ci devient alors un travail fastidieux, et souvent aléatoire (2).

Le cours de mes recherches actuelles sur les fluides géochimiques profonds, j'ai parfois éprouvé le découragement devant les observations longues et systématiques au microscope, dont le résultat négatif n'autorisait cependant aucune conclusion. Pour obtenir des résultats positifs rapides, le hasard des

échantillons en est trop souvent la cause : d'où la nécessité multiplier les observations microscopiques sur des prises différentes, effectuées sur un même échantillon. C'est pour ces raisons que j'ai été amené à mettre au point une méthode d'essais préliminaires, destinée à orienter l'observation de détail.

On sait que les auteurs anciens ont parfois réussi à libérer les gaz inclus dans les minéraux pour mieux les étudier, et ainsi que la dissolution de l'échantillon dans l'acide fluorhydrique semble avoir été une technique précieuse — son utilisation pour des essais préliminaires présenterait cependant quelques inconvénients. Dans des cas particulièrement favorables des inclusions isolées ont pu être ouvertes et les gaz détendus étudiés, de telles expériences sont restées comme des exemples rares de techniques restées personnelles. La méthode que je propose est plus brutale, son perfectionnement pourra cependant contribuer à la multiplication d'études quantitatives sur les gaz inclus ; dans la présente note je n'envisage que ses possibilités de donner des renseignements qualitatifs immédiats.

PRINCIPE.

Un petit fragment du minéral à étudier est écrasé dans une goutte de liquide placée entre deux lames de verre ; au cours de l'opération on observe si, oui ou non, des bulles gazeuses s'échappent du cristal brisé. Il suffit d'un fragment ne dépassant pas un millimètre de plus grande dimension. Plus le liquide d'immersion est visqueux et plus la manipulation est simple, on a intérêt à utiliser par exemple de l'huile de paraffine. L'opération peut avantageusement être réalisée sur platine d'une loupe binoculaire, dont le plus faible grossissement suffit généralement.

MODE OPÉRATOIRE.

On place la première lame porte-objet sous la loupe, on y dépose une ou deux gouttes de liquide. On vérifie qu'aucune bulle d'air ne s'est formée, sinon on la chasse avec une aiguille.

On immerge le fragment minéral dans le liquide, qui doit le couvrir entièrement. On amène le fragment minéral au centre du champ de vision. Avec une aiguille on débarrasse ce fragment de toute bulle d'air qui pourrait se trouver à sa surface, on vérifie aussi qu'il n'existe pas de fissures remplies d'air. On recouvre alors d'une seconde lame de verre, en ayant soin de la maintenir parallèle à la première : le liquide reste alors en place par la tension superficielle autour du fragment, qui y est entièrement noyé. On met au point et on ne quitte plus l'observation, en exerçant avec les doigts une pression de plus en plus forte sur les bords de la lame supérieure on écrase progressivement le fragment minéral, qui se brise en grains de plus en plus petits. On constate alors si des bulles gazeuses sortent des cassures qui s'ouvrent au cours de ce morcellement. S'il en est ainsi, le phénomène est souvent suffisamment démonstratif pour que la présence de gaz sous pression dans le minéral puisse être affirmée, on aura cependant intérêt à insister pour vérifier que le dégagement est bien dû à des inclusions emprisonnées dans la masse de minéral. S'il ne se produit aucun dégagement on insiste davantage pour s'assurer que le résultat négatif n'est dû qu'à un petit nombre des inclusions. Autant le dispositif est généralement net, autant un résultat négatif doit être recoupé par un second et même par un troisième essai sur des fragments pris en d'autres points de minéral. Chacun de ces essais ne demande, avec toutes les manipulations accessoires, que quelques minutes, c'est-à-dire pratiquement le temps mis pour préparer, avec le même minéral, un simple frottis (forme de préparation qui me paraît la mieux adaptée à l'étude microscopique des inclusions liquides).

DISPOSITIF AUXILIAIRE.

Sur cette forme élémentaire, la pratique de la méthode demande un certain doigté : à aucun moment le liquide ne doit couvrir le fragment minéral, or il a naturellement tendance à le faire si on s'écarte du parallélisme des deux lames.

La viscosité du liquide facilite une manipulation qui devient délicate lorsqu'on veut la réaliser avec de l'eau (ou une solution aqueuse de réactif à gaz). Plus le fragment minéral est petit et plus il est aisé de mener l'écrasement à bien. Dans le cas de parcelles plus petites on est obligé d'augmenter le grossissement ou même de faire appel au microscope ; on pourra alors observer d'abord les inclusions, puis regarder ce qu'elles donnent par libération. Mais on s'écarte ainsi du but premier de ces essais : dans la présente étude je laisse de côté ces développements qui amorcent une complication peut-être prématurée.

On peut aussi imaginer différents dispositifs qui rendraient l'écrasement du fragment minéral plus ou moins automatique ; je ne décrirai dans la présente note qu'un dispositif auxiliaire simple qui permet de mieux régler la pression des doigts.

Il est plus aisé de régler la pression des doigts sur la lame supérieure si la résistance irrégulière de l'échantillon qui s'écrase se trouve doublée par une résistance élastique régulièrement répartie. Un bon résultat peut être obtenu par

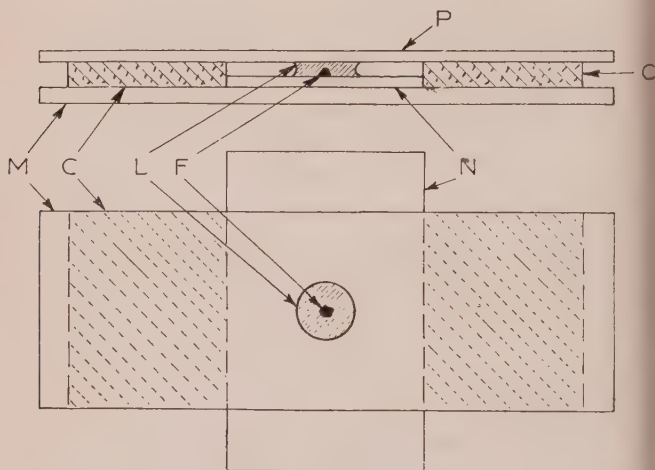


FIG. 1. — Dispositif expérimental sommaire.

- (M) Lame inférieure portant deux coussins de caoutchouc (c) ;
- (N) Lame porte-objet sur laquelle est déposé le fragment minéral ;
- (F) Noyé dans une goutte de liquide d'immersion (L) ;
- (P) Lame supérieure servant à l'écrasement.

le en interposant du caoutchouc entre les lames, mais il s'opposerait cependant à un écrasement complet du minéral. Le dispositif que j'utilise actuellement comporte une troisième lame de verre (M), celle-ci porte sur sa supérieure deux coussins (C) de caoutchouc mousse à ses extrémités. La lame porte-objet (N) est placée entre ces deux coussins, en croix avec la première lame. La lame supérieure sert à l'écrasement, peut alors être disposée de façon que ses extrémités portent sur les coussins. L'épaisseur des lames doit être convenablement choisie de sorte que la lame porte-objet (P) puisse venir s'appliquer sur la lame porte-objet sous une forte pression des doigts.

Le dispositif de trois lames superposées est donné ici à titre indicatif. Les deux dessins ci-contre le représentent en élévation. C'est surtout dans la démonstration de la méthode qu'il m'a rendu des services.

DONAINES D'APPLICATION.

Sur ce terrain il suffit d'être en possession de lames de verre, d'une fiole d'huile de paraffine pour être en mesure d'effectuer les essais, une forte loupe (œillère pour laisser les mains libres) permettra d'observer les bulles. La méthode pourrait être appliquée avec profit par les prospecteurs : les inclusions liquides filoniennes, souvent assez importantes et nombreuses, donneront des résultats très nets, même dans les conditions primitives de l'essai en campagne.

Un grand dégagement de gaz permettra de penser à une ébullition pneumatolytique du dépôt, l'absence de tout dégagement de gaz pour contre l'indice d'une origine purement hydrothermale. Dans l'absence d'observations microscopiques il n'est pas possible d'aller au delà, mais ces premières indications peuvent être précieuses en permettant une classification parmi les roches stériles. Le matériel détritique pourra utilement servir à l'objet d'examen analogues.

En laboratoire la méthode guidera, comme je l'ai dit plus haut, les recherches systématiques des inclusions fluides :

c'est là son but premier. Une autre application est la résolution de cas spéciaux, plus particulièrement de ceux des inclusions diphasées dont l'une des phases est aqueuse. La présence ou l'absence de gaz sous pression pourra, peut-être, permettre d'établir une nouvelle coupure dans la classification des inclusions fluides de ce type. Je me propose de faire connaître prochainement des exemples où cette distinction apparaît nettement : elle serait particulièrement intéressante à préciser dans le cas de gîtes minéraux filoniens, peut-être permettra-t-elle de faire la part des solutions juvéniles et des eaux vadoses (météoriques) dans les phénomènes hydrothermaux (3).

Les applications pétrographiques de cette méthode peuvent être délicates ; il y a intérêt à séparer les grains minéraux plutôt que de traiter la roche comme un tout. Les roches meubles se prêtent par contre bien à cette technique. Une dernière remarque au sujet de minerais et minéraux opaques : la méthode s'impose en l'absence de possibilités d'observation directes. Je n'ai effectué qu'un nombre très restreint d'essais dans ces conditions, mais je me propose de développer ces études.

*
* *

En conclusion qu'il me soit permis d'insister sur l'intérêt didactique et théorique de ces essais qui ont pour eux l'avantage de la simplicité. Ils doivent permettre à l'étudiant de prendre conscience de l'importance des phénomènes pneumatolytiques dans les profondeurs de l'écorce terrestre. Le naturaliste qui se sera familiarisé au cours de ses études avec de telles manipulations résistera mieux à la complication de raisonnements théoriques, dont certains risquent de l'écarteler de l'observation des faits naturels, pour l'égarer dans des considérations qui se réclament des méthodes mathématiques, sans en accepter la discipline rigoureuse (4).

Les inclusions fluides sont restées prisonnières des minéraux au cours des âges géologiques, les pressions énormes de leurs gaz témoignent assez des difficultés rencontrées par les diffé-

travers les édifices cristallins minéraux. Inversement, prendre compte de leur mise en place aucune réaction solide ne saurait être évoquée. Ce n'est en particulier l'ignorance du témoignage des inclusions fluides que de des séquences pneumatolytiques avec liquides résiduels pegmatitiques et aplitiques peut être considérée tant soit peu ébranlée par quelques arguments de géoplane invoqués pour résoudre des problèmes de l'espace. Ces mêmes considérations de géométrie élémentaire posées à d'autres filons ne sauront tromper celui qui s'attachera à l'étude des inclusions des remplissages filoniens. La technique qui vient d'être proposée aider à la reprise des études sur les fluides géochimiques profonds, les essentiels de la genèse des minéraux et des roches.

BIBLIOGRAPHIE

- DEICHA. — Essai de Manométrie minéralogique. *Bull. Soc. Fr. Min.*, LXXIII (1950), p. 55.
- Observations préliminaires sur une recherche pétrographique systématique des inclusions carboniques. *C. R. somm. Soc. Géol. de France*, 1950, p. 57.
- SMITH. — Origin of the epithermal Deposits. *Economic Geology*, 45, 1950, p. 19.
- DEICHA et M. ROUBAULT. — Réponse à une observation de DEICHA. *C. R. som. Soc. Géol. de France*, 1950, p. 80 (voir aussi p. 61).
- critères permettant de déterminer le mode de formation des filons à bords parallèles : injection ou remplacement. *Bull. Soc. Géol. de France* (5), XIX, 1949, p. 641-656.
-

SUR UN SCHISTE CHROMIFÈRE DU HOGGAR

PAR A. SANDRÉA,

Laboratoire de Minéralogie du Muséum, Paris.

Sommaire. — Étude minéralogique d'un schiste à tale, maripos corindon et chromite provenant d'une roche basique métamorphisée.

Parmi les roches recueillies par M. M. Lelubre, géologue au S. G. M. A. Nord, au cours de sa campagne saharienne 1846-47, figure un échantillon remarquable par la couleur vert émeraude de sa cassure, provenant de l'Oued Ahendac dans le Hoggar méridional. C'est avec l'aimable autorisation de M. Lelubre qui nous a communiqué l'échantillon, cette étude a été entreprise.

La roche est cryptocristalline, dense, son poids spécifique moyen oscillant entre 3,1 et 3,23.

L'examen microscopique montre une composition minéralogique à base d'éléments phyllito-lamellaires donnant une structure irrégulière, vaguement schisteuse. (Pl. I, fig. 1.)

Le fond de la roche est constitué par deux minéraux micacés, l'un vert, l'autre incolore. Par endroits on observe des concentrations de petits cristaux irréguliers d'un corindon rose violet ; enfin distribués avec une certaine régularité, les grains de minéraux métalliques les uns opaques, les autres partiellement translucides, d'une couleur rouge brun. Quelques individus de ces derniers sont entourés d'un revêtement opaque aux reflets bleu acier. (Pl. I, fig. 2-3.)

ÉTUDE OPTIQUE.

Des deux minéraux micacés constituant le fond de la roche, l'un est vert pâle, non polychroïque ; on le trouve en petites paillettes aux contours mal distincts de 1 à 3 μ . disposées en agglomérations constituant des plages plus ou moins étendues.

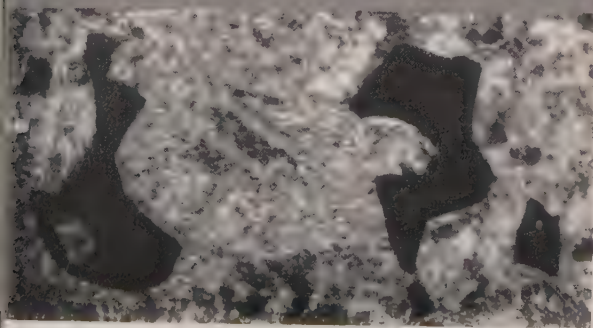
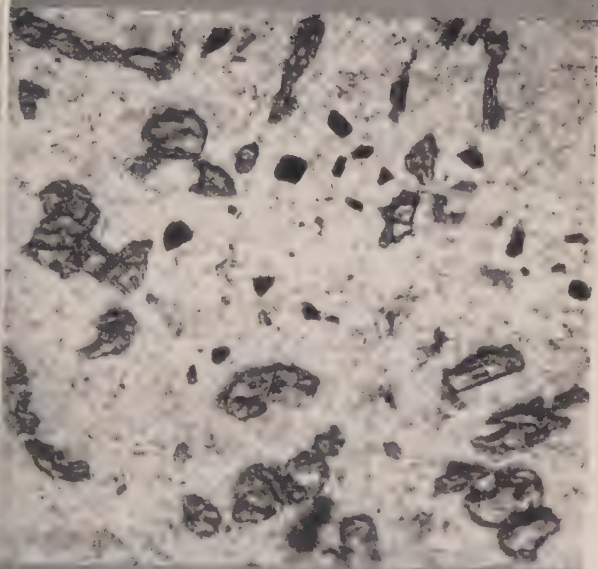
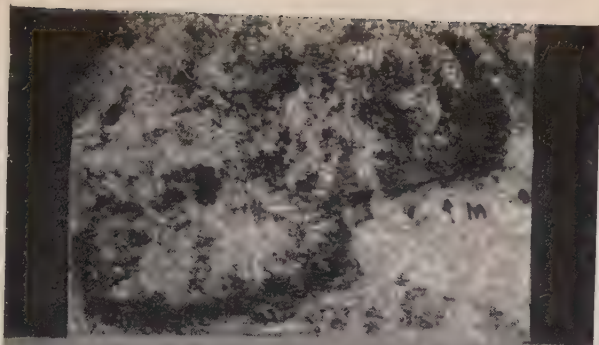


Fig. 1. — Concentration de mica vert, L. Pol. Nic+ $\times 150$.
 Fig. 2. — Corindon sur fond de phyllite, L. nat. $\times 250$.
 Fig. 3. — Chromite sur fond de phyllite, L. nat. $\times 150$.

d'une belle coloration vert pomme; les paillettes, dans les plages, accusent la même orientation, et semblent figurer des formes de minéraux primaires transformés.

L'allure du minéral est franchement micacée; un éclat prévu à l'aiguille sous microscope a donné au réfractomètre de ces indices de 1,608 pour n_g et 1,574 pour n_p . La biréfringence maximum est très délicate à mesurer, vu la petitesse des éléments; elle est en tout cas plus basse que dans les muscovites banales.

Quelques rares plages plus homogènes ont fourni à l'impression l'image d'une bissectrice aiguë négative à l'angle $2V$ compris entre 3° et 8° . — Jusqu'à présent tout porte à croire à la présence d'une muscovite chromifère remarquable par son angle $2V$ inférieur à 10° .

Les plages vertes sont mélangées, pénétrées et entourées de blancs, d'amas, de grappes, d'un minéral lamellaire se comportant aussi comme un mica blanc. Les individus sont plus grands que pour le précédent, pouvant aller jusqu'à 4-5 μ . Les indices en sont : 1,595 pour n_g ; 1,541 pour n_p . Une mesure d'axes a donné un angle $2V$ de l'ordre de 25° à 28° . Ce sont des caractères pouvant s'appliquer à bien des phyllosilicates négatives depuis la muscovite banale jusqu'au talc; la pyrophyllite⁽¹⁾ est exclue en raison de son angle $2V$ nul.

Le corindon se présente en grains irréguliers, parfois fusiformes, longs d'une trentaine de μ ; la coloration rosée donne des reflets tirant sur le mauve violet pâle; le minéral forme des concentrations isolées dont il constitue jusqu'à 30 % du minerai; hors de ces concentrations, il n'existe pas.

Enfin les minéraux opaques ont été examinés en lumière polarisée réfléchie. Ont été observés :

Des grains bien individualisés d'un minéral blanc brillant, anisotrope, de biréfringence très basse, aux caractères magnéto-ilménite.

Des grains irréguliers, parfois vermiculés, au pouvoir

⁽¹⁾ Pyrophyllite : uniaxe.

réflecteur presque nul, isotropes, représentent le minéral translucide brunâtre observé en lumière transmise ; ces grains sont entourés, pour la plupart des cas, d'une lèvre appartenant à un minéral opaque et isotrope d'une réflectence plus élevée que le centre ; l'ensemble occupe des zones avoisinant des parties riches en mica vert ; on aperçoit de très fines barbes opaques, qui partent de la partie opaque pour se perdre dans les lamelles de mica. Il semble bien qu'il s'agisse d'un spinelle chromifère, altéré, magnésio-chromite au centre et chromo-picotite sur les bords.

PRÉPARATION.

Il a été malaisé d'obtenir une séparation nette des minéraux ; le bromoforme et l'électro-aimant se sont avérés insuffisants pour séparer les produits du broyage simple, étant donné la taille très réduite des éléments. Il a donc fallu recourir à un broyage de 24 heures dans le broyeur à boules de fer ; le produit débarrassé des hydroxydes de fer par lavage à HCl étendu, a été dispersé par gravité dans l'eau distillée ; deux fractions ont été ainsi isolées : une fraction légère *A* (constituée par les deux éléments phylliteux), une fraction lourde *B* (constituée par les minéraux métalliques et le corindon).

FRACTION *B*.

De cette dernière fraction, la partie métallique *B_z* a été extraite à la liqueur de Clerici ; après extraction de la partie métallique, il subsistait une fraction claire *B₃* constituée en majeure partie par du corindon ; le corindon a été purifié par un traitement à l'iodure de méthylène et à l'électro-aimant et enfin lavé à l'acide sulfurique chaud.

Chacune de ces fractions a été analysée par voie spectrométrie chimique *Spectre de B_z* (arc à 110 volts : 2,5 a, 120 mg. Cette partie métallique a fourni un spectre très riche en raies du Fe, Al, Mg et Cr, qui semblent représenter les éléments constitutifs de base. Une gamme assez riche de raies du T.

que de nombreuses raies essentielles du Mn, précèdent dans l'ordre d'importance les raies ultimes du Ge, Co. Les éléments trouvés dans ce spectre peuvent être facilement attribués à un minéral ferro-titané se localisant dans la crychtonite pour laquelle le Mn représente l'élément habituel, et une magnésio-chromo-picotite pour laquelle le cortège de traces Ni, Co, Pt, Ge, est classique. Le reliquat (B β) clair, représenté par une trentaine de mg. de grindon, a été volatilisé dans l'arc à 4 ampères. Ont été trouvés sur fond de Al deux raies du titane, une fraction du minimum du Fe et cinq sur neuf ultimes fortes du Cr, et deux raies du vanadium. C'est un beau spectre de chromite rubis (le Cr y serait contenu sous forme chromeuse).

FRACTION A.

Quant à la partie phylliteuse, les poids spécifiques très différents des deux corps n'ont pas permis une dissociation ni une dispersion, ni par floculation différentielle. Tous les examens qui suivent ont été opérés sur l'ensemble de la fraction A. Un spectre d'arc a fourni les gammes classiques de Ca, Mg (I), K, Na, ainsi que des traces de Fe $^{+++}$, Li, Ga, ce spectre pouvant s'appliquer à tout mica blanc. Au sujet du Mg, il semble bien que la richesse de son spectre indiquerait pour une des deux phyllites une teneur comparable à celle d'un mica blanc. — En outre, dans l'intervalle compris entre 2.600 et 5.600 Å sont apparues 23 raies de chrome, soit 10 en plus des ultimes de cet intervalle (fig. 4). Le chrome a été dosé chimiquement pour l'ensemble de la fraction A : 0,43 %. En tenant compte des proportions à peu près équivalentes des deux phyllites, et en admettant que seul le minéral vert soit chromifère, il y aurait pour ce minéral une teneur de 0,8 à 0,9 % de Cr.

L'ensemble de cette fraction A a été examiné en deux places X de Debye-Scherer, un de poudre et l'autre en pla-

—
spectre de Mg très riche.

quettes orientées de profil. Les diagrammes ont été malaisés à déchiffrer; il en résulte :

1° La présence d'un mélange de deux corps appartenant tous les deux à la famille des corps dits à 10 Å.

2° Un de ces corps est un mica.

3° Le second corps est caractérisé par des paquets de raies fines et denses dans les deuxième et troisième ordres, présentant des analogies avec des diagrammes de talc. Si on ajoute à ceci la présence massive de Mg, décelé par voie spectrochi-

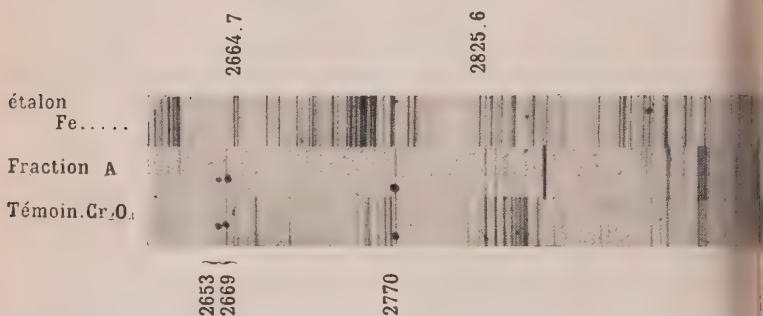


FIG. 4. — Spectre

mique dans la fraction A, on peut conclure au talc sans trop de risque.

Quant au mica, tenant compte de son angle 2 V et de ses caractères optiques, il s'agirait là d'un mica chromifère réunissant les caractères déterminants de la mariposite.

Les adversaires de la systématique de détail en minéralogie ont souvent contesté l'utilité de cette dénomination. Une cinquantaine de gisements de micas chromifères ont été repérés jusqu'à ce jour : on les a appelés fuchsites. — (Zillerthal, 1837, *Anal. Schafhäütl.*, Wien, 1843.)

Les teneurs en chrome oscillent entre 0,37 % (Californie) et 4,3 % (Matawatchan, Canada). — Parmi ces gisements, les micas de provenance californienne (Bear Valley-Mariposa) se distinguent par leur teneur en chrome relativement faible.

urs $< 1\%$), par leurs indices plus resserrés et se situant au-dessous des indices de muscovites et surtout par la permanence de leur pseudo-uniaxie ($2V < 12^\circ$), tandis que les autres fuchsites appartiennent aux muscovites à $2V$ très grand ($35^\circ-45^\circ$). — Quoique les rayons X se jusqu'à ce jour avérés impuissants à caractériser une dualité structurale des mariposites, dans le cadre des pseudo-muscovites, il nous semble que le caractère d'uniaxie, et la constance de leurs rapports ⁽¹⁾ silico-alumino,

5005 (N)

3605
Cr.

3902
Cr.

4254.5 }
4274.9 }
Cr. 4289.9 }

4646.3
Cr.

5208.6
Cr.

du chrome.

bio-alcalins (souvent présence de Li), impose le main- la catégorie mariposite pour certaines muscovites. eres : le mica d'Ahendadar réunissant les caractères es requis, ainsi que la faible teneur en chrome des e Californie, le nom de mariposite semble lui convenir. est donc en présence d'une roche phyllitotalqueuse à e et corindon d'une composition classique de méta- sisme « para ». Étant donné la prédominance des miné- mellaires secondaires, on peut tenter une reconstitution ue de la genèse du schiste en question. Le talc étant ération du périclase ou d'hypersthène et le mica pouvant r d'un feldspath, on voit assez facilement une roche

port de la classe phengitique.

originnaire comme un gabbro à pyroxène orth. ou olivine ; ces derniers donnent du talc, le feldspath se phyllitise, et l'excédent d'alumine du feldspath donne du corindon ; mais la présence de chrome complique le problème. En effet, il n'est pas possible de considérer la chromite comme minéral secondaire ; de plus, comme l'ont montré récemment Jung et Filippini, le chrome de la mariposite provient nécessairement du spinelle. Dans ce cas, il faut envisager une roche primitive, à feldspath, pyroxène magnésien ou olivine et chrome-spinelle. De telles roches sont connues, avec une composition de Labrador-Bytownite, chromodiopside, périclote et chromite ; Harker a dénommé cette roche à Skye « pyroxène alvalite ». — Une telle roche appartiendrait génétiquement à une souche périclotique ou du moins moyennement magnésio-ferrobasique.

Les affleurements de serpentine que M. Lelubre signale dans la zone de l'Oued Ahendadar semble corroborer l'hypothèse en ce sens. Il y aurait eu donc un cortège périclotique plus ou moins restreint comportant un faciès probablement plus leucocrate, en pyroxène, feldspath et spinelle. — L'ensemble est entraîné dans un métamorphisme généralisé. Dans ce métamorphisme, le feldspath donne du mica, l'aluminium du feldspath, en excédant sur les valences capacitaires du mica pour l'alumine, donne du corindon. Le pyroxène ou le périclote se transforme en talc ; le Fe et le Ti du diopside ont pu ou bien se constituer en crychtonite ou bien enrichir des germes d'ilménite primaire. Quant au spinelle, dont le point de dissociation reste très haut, même à de hautes pressions (Ferguson-Merwin, New-York, 1925), il aurait simplement « largué » du chrome en faible quantité, chrome facilement assimilé par le mica pendant que le talc restait réfractaire à toute « ingestion ».

C'est une des hypothèses les plus simples, dans la foule de suppositions valables qui peuvent se présenter ; il appartient à ceux qui travaillent sur le terrain de localiser ce processus ou tout autre dans l'histoire géologique du Hoggar. Nous voudrions exprimer notre gratitude à M. S. Henin.

toire agro. de Versailles, et le remercier de ses conseils
son aide pour les opérations très délicates de broyage,
sion et floculation.

BIBLIOGRAPHIE

I. *Micas chromifères.*

- MITMORE, BERRY, HAWLEY. — *Am. Min.*, 31, I, 1946.
MAN. — *Sveriges geologiska Undersökning*, 35, I.
SHINGTON. — *Chemical analysis of rocks*.
LIMAN. — *Cal. Acad. Sc.*, 380 et in Dœlter.
AFFHÄUTL. — *Wien. Chem. an.*, 1843.
G et FILIPPINI. — *CR. Ac. Sc.*, juillet 1949, p. 135.

II. *Spectrochimie.*

- AN A. — *Archives de Sc. Phys. et Nat.*, vol. 43, 1917, p. 487.
GRAMMONT. — *B. S. F. M.*, vol. 18, 1895, p. 171.
CR. Ac. Sc., vol. 166, 1918, p. 94.
LEY W. AND RAMAGE. — *Journal of the Chemical Society trans-*
action, vol. 16, 1900, p. 61.
ING. — *Zeitschrift für anorganische und allgemeine Chemie*,
vol. 122, 1922, p. 195.
ING. — *Ing. Wetenskaps Akademien*, n° 11, 1911, Stockholm.
SH. — *Economic Geology*, vol. 24, p. 470.
E. — *Fortschritte für Mineralogie*, vol. 12, 1927, p. 220.
D, KLEM. — *Zentralblatt für Mineralogie*, 1926, p. 30.
Neues Jahrbuch Min. Abteilung A, vol. 53, 1926, p. 266.
-

COMPOSITION CHIMIQUE DE QUELQUES TOURMALINES ET LEUR GROUPE DE RECOUVREMENT $C_{3v}^5 - R 3m$

PAR CONSTANTIN KURYLENKO,

Laboratoire de Minéralogie, Faculté des Sciences de Paris.

Sommaire. — L'examen de la composition chimique des dix tourmalines (tab. 1) et en même temps leurs études aux rayons X (méthode cristal tournant et Weissenberg) montrent que, si la dravite de Moravie concorde avec les résultats de Buerger (tab. 2), des difficultés se présentent pour d'autres tourmalines où la composition chimique semble montrer l'existence de lacunes dans la structure. Les particularités de la répartition des points homologues des tourmalines examinées retrouvent dans la variation des intensités des taches $h0,0$ et $hh,0$ des diagrammes de Weissenberg (tab. 4).

Les tourmalines (boro-silicates d'alumine de composition variable, tab. 1) cristallisent dans l'hémiédrie pyramidale du système rhomboédrique. Leur groupe de recouvrement a été déterminé par M^{lle} Kulaszewski en 1924. Selon cet auteur, les groupes de recouvrement les plus probables étaient $C_{3v}^1 - R 3m$ ou $C_{3v}^2 - R 3m$, le groupe C_{3v}^5 était exclu parce que les taches observées (hkl) ne remplissaient qu'à 40 % la condition du rhomboèdre ($-h + k + l = 3n$). En 1929, Machatschke, ayant examiné une cinquantaine d'analyses chimiques de tourmalines minérales, propose une formule générale :

$X Y_9 B_3 Si_6 H_x O_{31}$ (où $X = Ca, Na, Mn^{+2}$; $Y = Li, Mn, Fe$ et Al).

Le motif cristallin hexagonal comprend 3 fois ce groupe d'atomes.

Plus tard (en 1937), Buerger avait annoncé le groupe $C_{3v}^5 - R 3m$; en 1949, j'ai confirmé les résultats de Buerger pour la rubellite de l'Oural, la verdélite du Brésil et la dravite de Moravie.

G. E. Hamburger et M. J. Buerger ont déterminé (en 1949)

Composition chimique en atomes des tourmalines examinées.

ORIGINES	COULEUR	(MAILLE HEXAGONALE) COMPOSITION EN ATOMES									
		Si ₁₈	B ₉	Al ₁₈	...	Mg ₉	...	Na ₃	H ₁₂	O ₉₃	F
Moravie	colorée	Si ₁₈	B ₉	Al ₁₈	...	Mg ₉	...	Na ₃	H ₁₂	O ₉₃	F
Lipovaja, Oural (U. R. S. S.).	rose pâle	Si ₁₈	B ₉	Al ₁₈	Al ₆	...	Al ₆	Na ₃	H ₁₂	O ₉₃	F _{1/6}
Messa Grande, Calif. (U. S. A.).	rose	Si ₁₈	B ₉	Al ₁₈	Al ₁₈	...	Al ₆	Li ₃	H ₁₂	O ₉₃	F _{1/2}
Ile d'Elbe.....	incolore	Si ₁₈	B ₉	Al ₁₈	Al ₁₈	...	Al ₆	Li ₃	H ₁₂	O ₉₃	F _{1,12}
Verdélité (Brésil).....	verte	Si ₁₈	B ₉	Al ₁₈	Al ₆	...	Al ₆	...	H ₉	O ₉₀	F _{1/2}
Madagascar.....	noire	Si ₁₈	B ₉	Al ₁₆ Fe ₂ ⁺³	...	Mg ₄	Fe ₅	...	H ₉	O ₉₀	?
Minas Gerâes (Brésil).	noire	Si ₁₈	B ₉	Al ₁₈	...	Mg ₃	Fe ₆	Na ₃	H ₁₂	O ₉₃	traces
Varuträsk (Suède).....	noire	Si ₁₈	B ₉	Al ₁₈	Al ₂	...	Al ₂	Na ₃	H ₆	O ₉₀	F _{1/2}
Minas Gerâes (Brésil).....	verdâtre	Si ₁₈	B ₉	Al ₁₈	Al ₆	...	Al ₆	Li Na	H ₁₂	O ₉₃	F _{1/2}
Dravite, Pierrepont, N. Y. (U. S. A.).....	noire	Si ₁₈	B ₉	Al ₁₅ Fe ₃ ⁺³	...	Mg ₉	...	Na Ca ₂	H ₁₂	O ₉₃	F _{1/2}

la structure des tourmalines noires de Andersberg (Harz, Allemagne) et colorées de De Kalb, N.Y. (U.S.A.), (tab. 2).

Il semblait donc que la question de la structure des tourmalines était résolue. En effet, en examinant le tableau 1 on constate que la composition (en atomes) de la dravite de Moravie s'interprète convenablement avec les résultats précédents (tab. 3).

TABLEAU II

Coordonnées des atomes de tourmaline $\text{NaMg}_3 \text{B}_3 \text{Al}_6 \text{Si}_6 \text{O}_{27} (\text{OH})_3$
(maille hexagonale).

Selon G. E. HAMBURGER et M. J. BUEGER.

ATOMES	POINTS ÉQUIVALENTS	COORDONNÉES		
		X	Y	Z appr.
Na.....	3 <i>a</i>	0	0	7/9
$\text{OH}_{1/1}$	3 <i>a</i>	0	0	1/3
Mg.....	9 <i>b</i>	0,133	0,067	1/6
B.....	9 <i>b</i>	0,117	0,233	0
$(\text{OH})_{2/2}$	9 <i>b</i>	0,233	0,117	0
O_1	9 <i>b</i>	0,058	0,117	0
O_2	9 <i>b</i>	0,142	0,071	2/3
O_3	9 <i>b</i>	0,102	0,204	2/3
Al.....	18 <i>c</i>	0,050	0,367	5/6
Si.....	18 <i>c</i>	0,192	0,192	5/9
O_4	18 <i>c</i>	0,200	0,200	1/3
O_5	18 <i>c</i>	0,279	0,246	2/3
O_6	18 <i>c</i>	0,058	0,292	0

Nous avons partagé les 12 (OH) comme l'a fait Bueger : 3 (OH) en 3 (*a*) et 9 (OH) en 9 (*b*). En admettant que les tourmalines renferment les groupements $(\text{BO}_3)^{-3}$ analogues à $(\text{CO}_3)^{-2}$ nous aurons 9 $(\text{BO}_3)^{-3}$ en position 9 (*b*). Il ne restait qu'à partager 93 — (12 + 27) = 54 oxygènes parmi les 18 Si. Chaque Si recevra donc 3 oxygènes de sorte que 18 (SiO_3) occuperont les positions en 18 (*c*).

Par contre, une tourmaline de Madagascar et une verdélite du Brésil indiquent l'absence de 3 Na et de 3 $(\text{OH})_1$, donc de lacunes en position 3 (*a*), tandis que la tourmaline noire de

POINTS HOMOLOGUES DU GROUPE R 3M

TOURMALINES	3 (a)			9 (b)		18 (c)		COULEUR
	3 Na	3 (OH)	9 (OH)	9 (BO ₃)	9 Mg	18 Al	18 SiO ₃	
Dravite (Moravie).....	3 Na	3 (OH)	9 (OH)	9 (BO ₃)	9 Mg	18 Al	18 SiO ₃	colorée
Madagascar.....	néant	néant	—	—	$\left\{ \begin{array}{l} 4\text{Mg} \\ 5\text{Fe}+2 \end{array} \right\}$	—	—	noire
Verdélite (Brésil).....	néant	néant	—	—	9 $\frac{2}{3}$ Al	—	—	verte
Minas Gerâes (Br.).....	3 Na	3 (OH)	—	—	$\left\{ \begin{array}{l} 3\text{Mg} \\ 6\text{Fe}+2 \end{array} \right\}$	—	—	noire
Ile d'Elbe.....	3 Li	3 (OH)	—	—	9 $\frac{2}{3}$ Al	—	—	incolore
Varuträsk (Suède).....	3 Na	néant	9 $\frac{2}{3}$ (OH)	—	$\left\{ \begin{array}{l} 3 \frac{2}{3} \text{Al} \\ 6\text{Fe}+2 \end{array} \right\}$	—	—	noire
Messa Grande (U.S.A.).....	3 Li	3 (OH)	9 (OH)	—	9 $\frac{2}{3}$ Al	—	—	rose
Lipovaja (Oural).....	3 Na	3 (OH)	9 (OH)	—	9 $\frac{2}{3}$ Al	—	—	rose pâle
Minas Gerâes (Br.).....	$\left\{ \begin{array}{l} 2 \text{Li} \\ 1 \text{Na} \end{array} \right\}$	3 (OH)	9 (OH)	—	9 $\frac{2}{3}$ Al	—	—	verdâtre
Dravite (Pierrepont, U.S.A.)..	$\left\{ \begin{array}{l} 1 \text{Na?} \\ 1 \text{Ca} \end{array} \right\}$	3 (OH)	9 (OH)	—	9 Mg	$\left\{ \begin{array}{l} 18 \frac{5}{6} \text{Al} \\ 18 \frac{5}{6} \text{Fe}+3 \end{array} \right\}$	—	noire

TABLEAU IV

Intensités des taches (ho.o) et (hh.o) de quelques tourmalines (Weissenberg).

TACHES	INTENSITÉ NON CORRIGÉES (1)						ROSE DU MUS, D'H. NAT. PARIS	INTENSITÉS SELON HAMRURGER ET BUERGER
	DRAVITE DE MORAVIE	RUBELLITE DE L'OURAL	VERDÉLITE DU BRÉSIL	INCLORE DE L'ÎLE D'ELBE	NOIRE DE MADAGASCAR	NOIRE DE VARUTRÅSK		
30.0	45	40	20	10	15	8	30	41
60.0	8	60	8	8	8	3	20	28
90.0	30	70	30	20	25	15	50	57
120.0	40	16	20	...	12	...	10	17
150.0	15	48	25	...	...	...	..	50
180.0	...	20	...	...	...	...	...	...
11.0	8	40	0	10	0	0	40	0
22.0	50	50	30	30	40	20	40	94
33.0	15	25	2	5	0	0	6	40
44.0	30	40	20	20	15	10	20	50
55.0	35	60	50	50	60	40	50	139
66.0	40	35	40	40	40	30	30	63
77.0	0	3	0	2	0	0	0	0
88.0	5	5	5	10	10	...	5	17
99.0	...	6	...	...	0	...	...	16
1010.0	...	...	...	...	20	...	...	41

ask (Suède) présente d'autres particularités : les 3 (OH) sont en 3 (a) et les 6 (OH) sont répartis probablement en 6 (b). Quant aux rubellites de différentes origines on constate qu'elles offrent aussi des lacunes dans la répartition des homologues du groupe (1), (tab. 1).

L'influence de ces lacunes se retrouve dans la répartition des intensités (2) des taches (ho. o) et (hh. o) des diagrammes de Laue, (tab. 4).

Il nous voyons donc que la question de la structure des tourmalines reste à préciser.

BIBLIOGRAPHIE

- HER M. J. et PARRISH W. — Unit cell and space group of tourmaline. *Am. Mineral.*, 22, 1139-1150, 1937.
HER M. J. et HAMBURGER G. E. — Structure of tourmaline. *Am. Mineral.*, 33, 532-540, 761-762, 1948.
F. W. — *Analysis of rocks and minerals*, 322-4, Washington, 1915.

Le fluor peut être placé seulement sur l'axe c dans toutes les tourmalines.

Le principe de la méthode est le suivant : on effectue sur le diagramme de Laue des mesures à l'aide du microphotomètre : 1° dans la région de la raie du film ; 2° dans le domaine de la raie étudiée ; 3° dans la partie de fond continu du film. On obtient alors des déviations :

à la transparence du film,

à la raie.

à fond continu du film.

Ensuite, par noircissement s , le logarithme décimal du quotient des deux densités D_o et D_r ou D_f .

On a :

$$S_r = \log_{10} \frac{D_o}{D_r} \text{ et } S_f = \log_{10} \frac{D_o}{D_f}$$

On admet que :

$$S_r \sim K(I_r + I_f)t \text{ et } S_f \sim K(I_f)t$$

où I est l'intensité du rayonnement de la tache examinée, t est le temps d'exposition, K est une constante,

l'expression sera donc de la forme :

$$S = S_r - S_f = K(I_r + I_f)t - K I_f t = K(I_r)t$$

ou $S \sim (I_r K.t)$

Cette relation a permis de déterminer les valeurs du tableau 4.

4. KULASZEWSKI Ch. — Über die Kristallstruktur des turmalins. *Mittd. d. Institut f. Mineral. u. Petrog. d. U.*, Leipzig, 1921, XXXVI, 3 (n° 135), 84-117.
 5. KURYLENKO C. — Contribution à l'étude de la rubellite. *Bull. Soc. Fr. minér. et Crist.*, 72, 319-321 (1949).
 6. KURYLENKO C. — Analyse thermique de quelques tourmalines. *Bull. Soc. Fr. minér. et Crist.*, 73, 49-54 (1950).
 7. MACHATSCHKI F. — Formeleinheit des turmalins. *Z. f. Krist.*, 70, 211-233, 1929.
 8. QUENSEL P. et GABRIELSEN. — Minerals of the Varuträsk Pegmatite. XIV. The tourmaline group. *Geol. Fören. Förhändl.*, 61, 63-70, 1939.
-

REVUE DES ESPÈCES MINÉRALES NOUVELLES

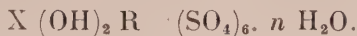
PAR M. PERMINGEAT,
Service géologique du Maroc, Rabat.

ABRÉVIATIONS UTILISÉES :

propriétés chimiques.	<i>gis.</i>	gisements.
— cristallographiques.	<i>opt.</i>	propriétés optiques.
étymologie.	<i>phys.</i>	— physiques.

ALUMINOCOPIAPITE

BERRY. — Composition and optics of copiapite. — *Toronto studies, Geol. Ser.*, n° 51, p. 21-34, 1947.



— Cette formule est celle de tous les minéraux du type de la copiapite. X représente un ou plusieurs des éléments suivants : Na, K, Cu, Fe^{II}, Mn, Mg, Zn, Ca, Al, Fe^{III} = Fe^{III} et parfois Al (pro parte), et $n = 20$.

— L'auteur propose le nom d'aluminocopiapite pour le type dans laquelle X est surtout Al.

— Les noms de ferricopiapite, magnésiocopiapite, copiapite et cuprocopiatite ont déjà été proposés.

de *Am. Min.*, 32, p. 483, 1947, new mineral names, (FLEISCHER.)

APOANALCITE

STEDAHN. — L'apoanalcite, nouveau minéral. — *Norsk. Vidensk. Meddel.*, 26, p. 215-218, 1947.



— Massive, un peu colonnaire.

— Couleur rouge. Uniaxe positif : $n_g = 1,487$, $n_p =$

Chim. — La courbe de déshydratation, montre un crochet endothermique aigu. 1,01 % H_2O est perdu à 300° et 9,40 % à 420° .

Analyse par L. LUND (sur 0,2 gr. pour la partie principale et sur 0,13 gr. pour les alcalis) :

SiO_2	41,2
Al_2O_3	34,0
CaO	0,7
Na_2O	12,2
K_2O	traces
H_2O	11,7
Total.....	99,8

La formule déduite de l'analyse ne correspond pas au type zéolite normal dans lequel chaque Al remplaçant Si est équivalent libéré par un Na.

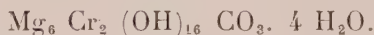
Gis. — Trouvée dans un bloc erratique de pegmatite syénitique dans une sablonnière à Voksen (5 km. NW d'Oslo). L'échantillon contient surtout une micro-perthite grise avec quelques cristaux d'aégyrine et de biotite.

Obs. — Il est possible qu'une partie de la « natrolite rouge, massive, de cette région soit en réalité de l'apocécite.

(Tiré de *Am. Min.*, 32, p. 700, 1947, new mineral name par M. FLEISCHER.)

BARBERTONITE

C. FRONDEL. — Constitution and polymorphism of the pyroaurite and sjögrenite groups. — *Am. Min.*, 26, p. 293-315, mai 1941.



Crist. — Hexagonale. $a_0 = 6,17$; $c_0 = 15,52 \text{ \AA}$.

Spectre de poudres identique à ceux de la sjögrenite et de la manasseite (n. sp.). Clivage (0001) parfait.

Phys. — Masses fibro-lamellaires et veinules à fibres traitées.

es. Dureté = 1,5 à 2. Densité observée : $2,10 \pm 0,03$;
calculée : 2,11.

— Couleur rose à violette. Uniaxe négatif, parfois
avec 2 V variable mais petit par suite de déformations.
 $n_g = 1,557$; $n_p = 1,529$.

— Trouvée à Dundas, Tasmanie et à Barberton,
Afrique du Sud, associée à la stichtite.

Origine. — D'après la localité de Barberton.

BARYTOANGLÉSITE

RAMDOHR. — Die orientierten Verwachsungen von Blei-
Cotunnite und Anglesite der Grube Christian Levin
am Zechstein-Borbeck. (mit einer Bemerkung über Verwachsungen
von Bleiglanz und Phosgenit). — *Abhandl. Deutsch.
Geol. Wiss. Berlin*, n° 4, p. 1-31, 1947 (pour 1945-1946).

— $a = 8,55$; $b = 5,41$; $c = 6,95$ Å.

— Plan des axes optiques parallèle à (100) ; n_g suivant
l'axe optique aiguë.

— La comparaison de la maille élémentaire de la
barytoanglésite avec celles de l'anglesite et le barytine amène
à penser qu'elle contient 22 % $Ba SO_4$ tandis que ses propriétés
optiques permettent d'estimer cette teneur à 7 %. Le
Ba a été décelé spectrographiquement.

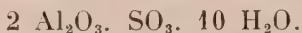
— Un filon plombifère dans cette mine de charbon
traversé par une eau saline (elle contient 0,62 % de $Ba Cl_2$)
provenant d'une source dans le Zechstein voisin. Les faces
cubiques de galène sont tapissées de cristaux aciculaires
de cotunnite et d'anglesite disposés parallèlement aux diagonales
aux arêtes des faces du cube. On trouve aussi des
cristaux carrés de phosgénite parallèles aux arêtes du cube.
L'auteur décrit et discute ces orientations par rapport au
cristallin. L'orientation de l'anglesite est « héritée »
de la cotunnite.

— D'après la teneur en baryum de cette variété
de barytoanglésite.

Min. Abst., vol. 10, n° 6, p. 253, 1948.)

BASALUMINITE-HYDROBASALUMINITE

F. A. BANNISTER et S. E. HOLLINGSWORTH. — Two new British minerals. — *Nature*, 162, n° 4119, p. 565, 1948.



Crist. — Spectre de poudres différent de celui de la felsobanyite : il indique un plus grand espacement : 9,2 Å.

La substance maintenue au contact de l'eau donne un espacement plus grand encore : 12,9 Å : mais elle se déshydrate naturellement et lorsqu'un poids constant est atteint, la poudre donne à nouveau le spectre de la basaluminite seule.

Phys. — Substance finement grenue, plastique jusqu'à la fusion, confondue avec l'allophane.

Opt. — Isotrope avec $n = 1,510$ environ.

Chim. — Deux analyses ont été effectuées par C. O. HALL et J. E. VEY sur des échantillons séchés à l'air contenant 5 % d'allophane :

SO ₃	15,6	14,2
Al ₂ O ₃	43,0	41,3
Fe ₂ O ₃	0,3	0,2
P ₂ O ₅	traces	1,0
H ₂ O (par différence)	38,7	39,7

La composition chimique de la basaluminite est voisine de celle de la felsobanyite.

Au contact de l'eau la basaluminite s'hydrate dans une proportion qui n'est pas connue ; mais, cette substance complètement hydratée maintenue à 16° C perd en 10 jours environ 50 % en poids avant qu'un poids constant ne soit atteint.

Gis. — Se présente en enduits sur les joints et dans les fissures dans les carrières de Northampton Ironstone, principalement aux Lodge Pit, Irchester Ironstone Co, 2 milles au nord de Wellingsborough.

Etym. — L'auteur propose le nom de basaluminite pour la substance normale et celui d'hydrobasaluminite pour la substance complètement hydratée.

(Tiré de *Am. Min.*, 33, p. 787, 1948, new mineral named par M. FLEISCHER.)

BASTINITE

F. FISCHER. — Bastinite, a new pegmatite phosphate. — *26 th. ann. meeting, Am. Min.*, 31, p. 192, 1946 (résumé).

St. — Triclinique. Petits cristaux parallélépipédiques tronqués. Pas de clivage.

Prop. — Fragile. Dureté : 4. Fusibilité : 1.

— Transparente, presque incolore. Non pléochroïque. Biréfringent négatif : $2V = 73^\circ$; $n_p = 1,649$; $n_m = 1,655$; $n_g = 1,658$.

Ch. — Phosphate de lithium avec fer et manganèse. Facilement soluble dans les acides dilués.

— Trouvée au Custer Mountain Lode, 3 km. E de Custer, South Dakota, dans les fissures de la lithiophyllite. Elle se présente en agrégats drusiques qui bordent, sans les recouvrir, les enduits de sicklerite ou de ses produits d'altération. Elle paraît s'être formée à un stade hydrothermal très tardif.

Nom. — Dédiée à E. S. BASTIN.

BEYERITE

FRONDEL. — Mineralogy of the oxydes and carbonates of bismuth. — *Am. Min.*, 28, p. 531, 1943.

W. HEINRICH. — Beyerite from Colorado. — *Am. Min.*, 32, p. 660-669, 1947.

LAGERCRANTZ et L. G. SILLEN. — On the crystal structure of $\text{Bi}_2\text{O}_2\text{CO}_3$ (bismuthite) and $\text{Ca Bi}_2\text{O}_2(\text{CO}_3)_2$ (beyerite). — *Arkiv Kemi Min. Geol.*, 25 A, n° 20, 21 p., 1948 et *Geol. Föreläsningst., 10*, 6, 1948 (résumé).



— Quadratique :

$a_0 = 3,78 \pm 0,01$; $c_0 = 21,77 \pm 0,05 \text{ \AA}$. $Z = 2$.

Minéral artificiel produit en autoclave (3) donne :

D_{4h}^{17} — $I 4/mmm$; $a = 3,767$; $c = 21,690 \text{ \AA}$.

Phys. — En cristaux très aplatis suivant (001), souvent groupés en rosettes ou en masses terreuses. Densité (substance massive) : 6,56. Dureté : 3 ou inférieure.

Opt. — Cristaux jaune brillant à jaune citron ; masses terreuses blanc jaunâtre à blanc ou vert jaunâtre à gris. Non pléochroïque. Uniaxe négatif parfois légèrement biaxe. $n_g = 2,13 \pm 0,02$; $n_p = 1,99 \pm 0,02$ ou d'après (2) $n_g = 2,11$; $n_p = 1,94$.

Chim. — Les courbes d'analyse thermique de la bismitite et de la beyerite sont nettement différentes.

Fait effervescence vive dans HCl dilué.

Analyse par F. A. GONYER (2) :

Bi ₂ O ₃	73,65
Ca O	8,85
Pb O	1,73
Cu O	1,10
Mn O	0,12
CO ₂	13,59
insol	0,79
Total.....	99,83

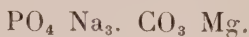
Gis. — La beyerite a été reconnue à Schneeberg, Saxe ; Pala, San Diego, Californie ; et dans les pegmatites onze localités du Colorado.

Étym. — Dédée à A. BEYER, ingénieur et minéralogiste à Schneeberg.

Obs. — Azruni et Thaddeef ont décrit brièvement (*Zentralblatt für Krist.,* 31, 238, 1899) un minéral de Schneeberg qui est probablement identique à la beyerite. Un minéral semblable provenant d'Argentine, a été analysé par Bodenbauer (*Zentralblatt für prakt. Geol.,* 322, 1899).

BRADLEYITE

J. J. FAHEY et C. TUNELL. — Bradleyite, a new mineral, sodium phosphate — magnesium carbonate. — *Am. Mineralogist*, vol. 26, p. 646-650, nov. 1941.



tt. — Les auteurs donnent la position et l'intensité des du spectre Debye-Scherrer.

ss. — En grains extrêmement fins (0,002 mm.). Densité (?)

— Les grains sont probablement blancs ou incolores.

1,56 environ ; $n_p = 1,49$ environ ; $n_m = 1,525$ (?).

n. — Très lentement décomposée par l'eau.

ude aux rayons X montre que la substance ne contient P_3Mg sous forme de giobertite.

analyse :

argile.....	14,46
Mg O.....	12,91
Na ₂ O.....	31,62
P ₂ O ₅	22,03
CO ₂	15,80
Fe ₂ O ₃	0,52
Al ₂ O ₃	0,24
Ca O.....	0,36
SO ₃	0,46
Cl.....	0,35
SiO ₂	0,02
H ₂ O (— 100°).....	0,30
H ₂ O (+ 100°).....	néant
K ₂ O.....	néant
Total.....	99,07

provient d'un peu de shortite, il faut déduire des ci-dessus les quantités de CO₂ et Na₂O correspon-

— Trouvée dans un sondage, dans des schistes bitu- à une trentaine de km. à l'W de Green River, Sweet- county, Wyoming, U. S. A.

est associée à la shortite, la trona, la pirsonnite, la te, la bromlite, la northupite, la montmorillonite, le la dolomie et la pyrite.

— Dédiée à W. H. BRADLEY du « Geological

BRAZILIANITE

1) F. H. POUGH et E. P. HENDERSON. — Brazilianite, a new phosphate mineral. — *Am. Min.*, 30, p. 572-582, sep-oct. 1945.

2) E. T. FILHO. — Constantes cristalográficas e forma de Brazilianita. — *Mineração e metalurgia*, 8, 373, 195.

3) M. P. GODOY. — Occorencias de Brazilianita do Córrego Frio Município de Conselheira Pena, Minas Gerais. — *Ibid.*, 8, 385, 1945.

4) E. T. FILHO. — Duas Orientações para a Brazilianita. — *Ibid.*, II, 61, 1946.

5) C. S. HURLBUT et E. WEICHEL. — Additional data on brazilianite. — *Am. Min.*, 31, 507, 1946.

6) R. R. FRANCO et W. LOEWENSTEIN. — Pesquisas Roentgenográficas sobre a Brazilianita. — *Univ. São Paulo, Fac. Fil. Cienc. e Let.*, 1946.

7) C. FRONDEL et M. LINDBERG. — Second occurrence of brazilianite. — *Am. Min.*, 33, p. 135-141, 1948.

Crist. — Monoclinique : $2/m$. $a : b : c = 1,1056 : 1 : 0,699$
 $\beta = 97^{\circ}22'$; $a_0 = 11,19$; $b_0 = 10,08$; $c = 7,06$ Å. Groupement de recouvrement : $P2_1/n$. Nombreuses faces observées, les plus fréquentes sont : (010) (100) (110) (011) ($\bar{1}11$) ($\bar{3}01$) (110) (001) (211) et ($\bar{1}01$). Les mesures d'angles sont données dans 1) et 7) en particulier. Clivage parfait (010).

Trois types de cristaux ont été notés :

a) le plus fréquent : zone prismatique peu développée, face de la zone 100 dominant (1) ;

b) cristaux un peu allongés suivant 001 avec très nombreuses faces prismatiques donnant un aspect arrondi, strié suivant 001 (1) ;

c) faces prismatiques à peu près absentes, grand développement de (011) et ($\bar{1}11$) (7).

Phys. — Dureté = 5,5. Densité : 2,94 (1) ; 2,976 (2) ; 2,985 (7) ; calculée : 3,025 (5).

Opt. — Vert jaune, translucide à transparent ; éclat vitreux.

re positif : $2 V = 71-75^\circ$ (7). n_m est sur b et n_p fait un angle de 20° avec c . $n_p = 1,602$; $n_m = 1,609$; $n_g = 1,623$ (1001 (7). Dispersion faible : $r < v$.

m. — Difficilement fusible : blanchit et gonfle. Au feu fermé décrépite et donne de l'eau. Insoluble dans HCl.

Analyses : 1) de Palermo Mine, par M. L. LINDBERG ;

de Minas Geraes, par E. P. HENDERSON :

	1	2
Al_2O_3	42,85	43,82
P_2O_5	38,79	37,97
Na_2O	8,29	8,42
K_2O	0,20	0,37
H_2O+	9,91	9,65
H_2O-	0,04	—
Fe_2O_3	0,03	n. d.
TiO_2	0,05	n. d.
Mn O.....	traces	—
F et Li_2O	néant	—
Total.....	100,16	100,23

— Trouvée originellement (1) en grands cristaux gemmes dans une pegmatite de la région de Conselheira do Mat de Minas Geraes, Brésil. Un deuxième gisement a été découvert (7) dans les pegmatites granitiques de Palermo, Groton, Grafton County, New Hampshire.

— Du nom du pays d'origine, le Brésil.

BREDIGITE

TILLEY et H. C. G. VINCENT. — The occurrence of an orthorhombic high-temperature form of Ca_2SiO_4 (bredigite) at Sawt Hill contact-zone and as a constituent of slags. *Am. J. Sci.*, 28, p. 255-271, n° 200, 1948.



— L'orthosilicate Ca_2SiO_4 se présente sous 4 formes : α , orthorhombique, stable à haute température; α' , orthorhombique, stable au-dessus de 1.420° et passe à la forme γ , probablement monoclinique, au-dessous

de 675°. La larnite correspond à la forme β et la bredigite la forme α' .

Phys. — Densité : $3,40 \pm 0,02$ (sur bredigite impure et scories).

Opt. — Les sections basales ont un contour hexagonal, montrent des macles répétées et des traces d'un clivage prismatique. Parfois pléochroïque : pour la bredigite d'une roche à melilite n_p est violet pâle, n_g est incolore à vert très pâle.

Biaxe positif avec $2V = 30^\circ$ (pouvant s'abaisser à 10°). Orientation : n_p sur b ; n_m sur a ; n_g sur c . $n_p = 1,712$; $n_m = 1,716$; $n_g = 1,725$. Mais ces valeurs sont variables : par exemple la bredigite d'une roche à melilite a donné $n_p = 1,725$; $n_m = 1,728$; $n_g = 1,740$ et la bredigite analysée : $n_p = 1,713$; $n_m = 1,717$ et $n_g = 1,732$.

Chim. — Rapidement attaquée sans effervescence, par les acides les plus faibles, elle laisse un squelette de silice.

Analyse recalculée à 100 d'une bredigite des scories contenant 3,78 % CaS, 0,95 % BaS, 4,55 % insoluble et 0,29 % H_2O .

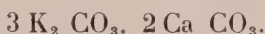
SiO ₂	33,90
TiO ₂	0,34
Fe ₂ O ₃	0,12
Al ₂ O ₃	néant
MnO.....	3,38
CaO.....	49,23
BaO.....	6,91
MgO.....	6,78
F.....	0,16
	<hr/> 100,00

Gis. — Trouvée à Swat Hill, Antrim Co, Irlande, dans des roches formées de spurrite, de larnite et de gehlenite ; dans des roches à melilite avec larnite, perovskite et magnétite ; dans l'île de Muck, comté d'Inverness, dans la zone de contact d'un calcaire avec le gabbro de Camas Mòr ; dans des scories d'un acier spiegel à Middlesborough avec melilite, monticellite, CaS et verre.

m. — Dédicée à M. A BREDIG qui étudia le polymor-
phisme de Ca_2SiO_4 .

BUETSCHLIITE

MILTON et J. AXELROD. — Fused wood-ash stones : fair-
childite (n. sp.) $\text{K}_2\text{CO}_3 \cdot \text{CaCO}_3$, buetschliite (n. sp.) $3\text{K}_2\text{CO}_3 \cdot$
 $\text{CaCO}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ and calcite CaCO_3 , their essential compo-
sition. — *Am. Min.*, 32, p. 607-624, 1947.



1. — Probablement hexagonal. Cristaux trapus en
tableaux. Les auteurs donnent des spectres de
diffraction et comparent le minéral au produit artificiel.

2. — Uniaxe négatif avec $n_p = 1,455$ et $n_g = 1,595$.

3. — Quatre analyses de cendres de bois fondues sont
données ; par exemple deux analyses de cendres de *Tsuga*
thyli provenant de Wind River Country, Southern
Wyoming, effectuées par R. KIENHOLZ :

SiO_2	0,38	0,41
P_2O_5	6,58	5,47
Al_2O_3 et Fe_2O_3	0,99	0,34
SO_3	traces	0,67
Cl.....	traces	traces
CaO.....	21,90	21,79
MgO.....	4,48	4,06
Mn_3O_4	1,32	7,17
K_2O	24,54	30,42
Na_2O	2,06	4,20
CO_2	25,47	n. d.
H_2O , C, etc. par dif.).....	12,28	25,47
Total.....	100,00	100,00

4. — Trouvée dans les concrétions minérales qui se
forment dans les troncs d'arbre des forêts incendiées. Elle
peut être soit de l'hydratation partielle de la fairchildite (n.
sp.) soit de la cristallisation à partir de solutions peu concen-
trées. Elle se transforme en calcite.

Étym. — Dédée à O. BUETSHLI, ancien professeur de zoologie à Heidelberg, qui en fit la synthèse.

CALCLACITE

R. VAN TASSEL. — Une efflorescence d'acétato-chlorure de calcium sur des roches calcaires dans des collections. — *Bull. Musée Royal d'Hist. Nat. de Belgique*, 21, n° 26, 11 p. 1945.



Phys. — Fines aiguilles flexibles n'atteignant qu'exceptionnellement 3 cm. de longueur. Densité comprise entre 1,4 et 1,56 mais plus voisine de cette dernière valeur.

Opt. — Incolore. Éclat soyeux vif. Non fluorescente dans l'ultra-violet. Extinction droite, allongement positif. $n_p = 1,468$; $n_m = 1,484$; $n_g = 1,515$ (lumière du Na) $2V = + 80^\circ$ (mesuré), $+ 73^\circ$ (calculé).

Chim. — Très soluble dans l'eau. Chauffée à 100° , blanchit et perd environ 40 % de son poids mais se réhydrate facilement. Commence à se décomposer au-dessous de 550° ; 950° il ne reste plus que Ca O. Les produits dessiccants, tels que Ca Cl₂ et So₄ H₂, extraient 28 et 36 % d'eau du minéral.

Analyse par R. VAN TASSEL et G. POULTIER.

Ca	17,6
Mg	traces.
Cl	15,4
Ac	25,5
H ₂ O	39,5
Total	98,0

Gis. — Se forme très lentement sur des roches calcaires conservées dans des meubles en bois. Le chlore est fourni par le calcaire qui contient une assez forte quantité de chlore non compensée par du sodium (une analyse du calcaire toulonnaisien d'Yvoir est donnée) ; l'acide acétique provient du bois des meubles.

Étym. — D'après la composition chimique.

DERVILLITE

WEIL. — La dervillite, espèce minérale nouvelle. — *Re. nat. Auvergne, Clermont-Ferrand*, n. sér., vol. 7, 111, 1941.

Cr. — Monoclinique : $a : b : c = 1,0691 ; 1 : 1,4853$ les mesures de H. UNGEMACH sur un cristal possédant. Au moins une direction de clivage.

Spectre de poudres, est différent de celui de la lautite et des autres minéraux du même gisement.

Ps. — Très fragile. Dureté faible.

— Petits cristaux (0,3 mm.) noir brunâtre. Éclat aque. Poussière noire.

Ch. — Soluble dans NO_3H . Contient Sb, Pb et peut-être un peu de S.

— Trouvée à la mine de Gabe Gottes, Sainte-Marie-aux-Mines, Haut-Rhin, dans une cavité dans l'arsenic natif.

DUNHAMITE ou MICRODUNHAMITE

Am. Min. FAIRBANKS. — 1) The punched card identification of microscopic ore minerals. — *Econ. Geol.*, 41, p. 761-768, 1946; 2) Naming microscopic ore minerals. — *Am. Min.*, 32, p. 683, 1947.

PbO. TeO_2 (?).

Ch. — Sectile, dureté : 1 à 2.

— En sections polies : homogène, brun pâle, anisotrope.

Ch. — Par la méthode des empreintes, l'auteur a montré que les principaux constituants étaient Pb et Te. (Cf. la discussion de M. FLEISCHER et E. E. FAIRBANKS. — *Am. Min.*, 32, p. 672 et p. 701, 1947.)

— Se forme par oxydation de l'altaïte.

Am. Min. — Dédiée à K. C. DUNHAM qui, le premier, décrivit la mine (cf. The geology of the Organ Mountains. — *New Mexico School of Mines, state bureau of Mines and Mineral Resources*, Bull. II, p. 159, 1935).

Obs. — Pour les noms de minéraux nouveaux qui n'ont été déterminés qu'en sections polies sous le microscope, l'auteur propose d'employer le préfixe « micro ». Ainsi la dunhamite serait appelée : microdunhamite.

EPIIANTHINITE

A. SCHOEP et S. STRADIOS. — Paraschoepite and epiianthinite, two new uranium minerals from Shinkolobwe (Belgian Congo). — *Am. Min.*, 32, p. 344-350, mai-juin 1947.

Phys. — Dureté : 2 à 3. Densité : 3,3.

Opt. — Jaune. Pléochroïque : n_p : jaune pâle ; n_m : jaune ; n_g : jaune foncé. Allongement suivant b . n_p sur c , n_m sur a , n_g sur a . Biaxe négatif avec 2 V très faible. $n_p = 1,79$, $n_m = 1,79$; $n_g = 1,793$.

Chim. — Produit d'oxydation de l'ianthinite de composition chimique inconnue, probablement oxyde d'uranium.

Gis. — Trouvée à Shinkolobwe, Congo belge, sur des cristaux d'ianthinite. Son réseau cristallin est en continuité avec celui de l'ianthinite et celle-ci forme souvent des trains résiduelles violettes parallèles à b dans les cristaux d'epiianthinite.

Étym. — D'après ses relations avec l'ianthinite.

EPSOMITE NICKELIFÈRE-MORENOSITE MAGNÉSIFÈRE (pyroméline)

C. O. HUTTON. — Nickelian epsomite from North Auckland, New Zealand. — *Am. Min.*, 32, p. 553-560, 1947.



Phys. — Agrégats de cristaux aciculaires présentant 2 faces : (010) bon et (011) difficile.

Opt. — Vert bleu pâle. Biaxe avec 2 V = $47^\circ \pm 2^\circ$. P des axes optiques : (001). $n_p = 1,446 - 1,448$; $n_m = 1,44$, $n_g = 1,474$.

Chim. — Sa composition est intermédiaire entre celles de l'epsomite ($\text{Mg SO}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}$) et de la morenosite ($\text{Ni SO}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}$).

en. — L'auteur propose de n'employer que les termes *epso-
nite nickelifère* (nickelian epsomite) et de *morenosite
magnésifère* (magnesian merenosite) pour désigner les miné-
raux intermédiaires de la série isomorphe : epsomite-moreno-
site. — Il propose de rejeter le nom de *pyroméline* qui avait été proposé
par VON KOBELL pour le sulfate de nickel heptahydraté puis
par PISANI pour un minéral de Zermatt ayant une com-
position intermédiaire.

EULITE

POLDERVAART. — The relationship of orthopyroxene to
enstatite. — *Min. Mag.*, 28, p. 164-172, 1947.

en. — L'auteur propose pour les pyroxènes orthorhom-
biaux la série enstatite (En) — orthoferrosilite (Of), une nou-
velle nomenclature analogue à celle des plagioclases :

enstatite.....	100-90 %	Mg	Si	O ₃
ferrosilite.....	90-70 %		—	
hypersthène.....	70-50 %		—	
ferrohypersthène.....	50-30 %		—	
eulite.....	30-10 %		—	
orthoferrosilite.....	10- 0 %		—	

en. — Le nom d'eulite est tiré d'eulysite (wehrlite riche
en eulite), nom d'une roche dans laquelle on trouve princi-
palement des pyroxènes d'une composition correspondant à
celle de l'eulite.

en. — M. FLEISCHER (*Am. Min.*, 33, p. 99, 1948) suggère
d'utiliser un nouveau nom d'utiliser une nomenclature plus
simple employant le seul nom d'orthopyroxène suivi de la
composition, par exemple orthopyroxène (En₂₀) ou orthopy-
roxène (En₂₀ Of₈₀).

FAIRCHILDITE

FAIRCHILD et J. AXELROD. — Fused wood-ash stones : fair-
childite (n. sp.) K₂ CO₃. Ca CO₃, buetschliite (n. sp.) 3 K₂
Ca CO₃. 6 H₂O and calcite Ca CO₃, their essential
constituents. — *Am. Min.*, 32, p. 606-624, 1947.



Crist. — Hexagonal. Les auteurs donnent le spectre de poudres et le comparent à celui du produit artificiel.

Phys. — Paillettes hexagonales possédant un bon clivage basal.

Opt. — Uniaxe négatif. $n_p = 1,48$; $n_g = 1,530$.

Chim. — Par hydratation la fairchildite se transforme en buetschliite (n. sp.) et en calcite.

Quatre analyses de cendre de bois fondues sont données, par exemple : 1) cendres de *Tsuga heterophylla*, Kaniksu National Forest, Coolin, Idaho, par R. KIENHOLZ ; 2) cendres d'*Abies concolor*, Grand Canyon, National Park, Arizona, par C. MILTON.

	1	2
SiO ₂	0,32	—
P ₂ O ₅	6,96	—
Al ₂ O ₃ , Fe ₂ O ₃	1,68	1,0
SO ₃	traces	0,7
Cl.....	traces	—
CaO.....	22,02	18,5
MgO.....	6,28	2,3
Mn ₃ O ₄	1,21	—
K ₂ O.....	25,01	23,6
Na ₂ O.....	5,31	10,7
CO ₂	19,76	—
(H ₂ O, C, etc., par diff.).....	11,65	43,2
Total.....	100,00 (<i>sic</i>)	100,0

Gis. — Trouvée dans des concrétions minérales qui se forment dans les troncs d'arbres de forêts incendiées.

Étym. — Dédicée à J. G. FAIRCHILD, chimiste au Geological Survey.

FERSMITE

E. M. BOHNSTEDT-KUPLETSKAYA et T. A. BUROVA. — La fersmite, nouveau niobate de calcium des pegmatites des monts Vishnevye, Oural central. — *CR. Ac. Sc. U. R. S. S.*, 52 p. 69-71, 1946.

Niobate de Ca du type AB₂O₆, essentiellement : (Ca, Ce, Na), (Nb, Ti, Fe, Al)₂, (O, OH, Fe)₆.

est. — Orthorhombique. $a : b : c = 0,377 ; 1 : 0,356$ (en). Cristaux imparfaits montrant (010) (110) (111), plus souvent (130) et parfois (131) et (021).

Phys. — Cassure inégale à conchoïdale; pas de clivage. Réfract. : 4,5. Densité : 4,69. Radioactivité équivalente à 81 % U_3O_8 .

Opt. — Noire. Poussière brun grisâtre. Éclat résineux. Appareille à translucide en lames minces. Nettement anisotrope, biréfringence moyenne. Biaxe probablement positif. $2V$ grand, n voisin de 2.

Chim. — Au chalumeau : décrépité, devient brune et se volatilise à chaud. Faiblement attaquée par $SO_4 H_2$.

Les analyses sont données :

SiO ₂	0,75	n. d.
Nb ₂ O ₅	70,12	71,51
Ta ₂ O ₅	traces	n. d.
Ti O ₂	3,21	2,94
Fe ₂ O ₃	1,71	1,25
Al ₂ O ₃	1,28	n. d.
Terres rares.....	4,79	3,98
Ca O.....	14,49	15,53
Mg O.....	0,98	0,97
Mn O.....	0,48	n. d.
Na ₂ O.....	0,46	n. d.
H ₂ O.....	0,72	n. d.
F.....	1,07	n. d.
Total.....	100,86	96,18
(O = F ₂). Total.....	100,07	

Étude aux rayons X, par I. B. Borovsky, du précipité des terres rares (4,79 %) a montré qu'il était formé de 80 % de terres cétriques, 10 % de terres yttriques et 10 % de Th O₂.

Les auteurs donnent, en outre, une étude chimique qualitative aux rayons X.

— Trouvée dans deux pegmatites syénitiques de la région septentrionale des monts Vishnevye, région du lac Bul-Oural central. La roche est formée de microcline et de feldspathes. La fersmite forme des ségrégations, atteignant

1 à 1,5 cm., à contours irréguliers, dans l'oligoclase. Les minéraux associés sont la biotite, le pyrochlore, la hornblende, l'apatite, le sphène et le quartz et, accessoirement, la pyrite, la magnétite, la muscovite, le zircon et le xénotime.

Étym. — Dédicée à A. E. FERSMAN.

(Tiré de *Am. Min.*, 32, p. 373, 1947, new mineral names par M. FLEISCHER.)

FORMANITE

II. BERMAN et C. FRONDEL. — *Dana's system of mineralogy*, 7th. ed., vol. I, p. 757-763, janvier 1946.



Chim. — C'est le terme tantalifère de la série de la fergusonite. Un minéral de composition voisine de la formule théorique a été décrit par SIMPSON (cf. *Proc. Austrasian Assoc. Adv. Sc.*, 12, 310, 1909). L'analyse a donné :

Y_3O_3	23,00
Er_2O_3	8,38
$(Ce, La, Di)_2O_3$	0,94
UO_3	1,18
ThO_2	1,02
Ta_2O_5	55,51
Nb_2O_5	2,15
TiO_2	2,20
CaO.....	2,18
MnO.....	0,87
FeO.....	traces
perte au feu.....	3,36
Total.....	100,79
Densité.....	6,236

Étym. — Dédicée à F. G. FORMAN, géologue de l'Ouest australien.

Le secrétaire-gérant : A. J. ROSE.

BULLETIN

DE LA

SOCIÉTÉ FRANÇAISE DE MINÉRALOGIE
ET DE CRISTALLOGRAPHIE

BULLETIN
DE LA
SOCIÉTÉ FRANÇAISE
DE
MINÉRALOGIE
ET DE
CRISTALLOGRAPHIE

(ANCIENNE SOCIÉTÉ MINÉRALOGIQUE DE FRANCE)

Fondée le 21 Mars 1878

RECONNUE COMME ÉTABLISSEMENT D'UTILITÉ PUBLIQUE PAR DÉCRET
DU 2 FÉVRIER 1886

OUVRAGE PUBLIÉ AVEC LE CONCOURS
DU CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

TOME SOIXANTE-QUATORZE

PARIS
LIBRAIRIE MASSON ET C^{ie}, ÉDITEURS

LIBRAIRES DE L'ACADÉMIE DE MÉDECINE

120, Boulevard Saint-Germain, 120

1951

